This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

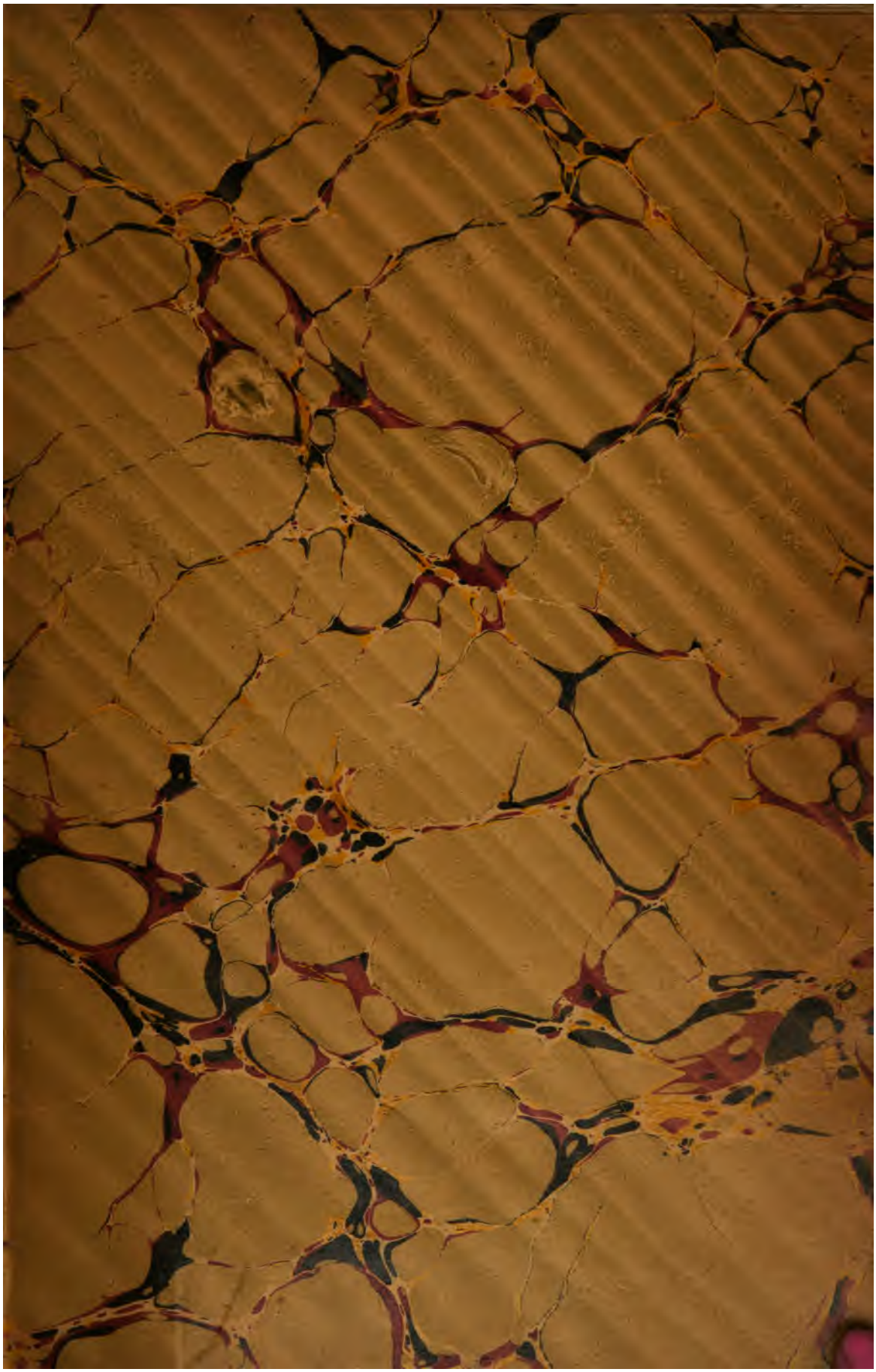
We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Library
of the
University of Wisconsin



L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS — SES APPLICATIONS

HISTORIQUE — MINERAIS — FABRICATION — PROPRIÉTÉS
APPLICATIONS GENÉRALES

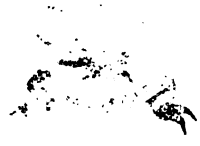
[illegible]

[illegible]ÉTÉS [illegible]SES

[illegible]

[illegible]TORS [illegible]AIS FABRICA[illegible]

[illegible]



PARIS.

[illegible] IMPRIMEUR-LIBRAIRE

[illegible] DE L'ÉCOLE [illegible]

[illegible] de [illegible] Augustins, 35

[illegible]

[illegible]

P. MOISSONNIER

L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS — SES APPLICATIONS

HISTORIQUE — MINERAIS — FABRICATION
PROPRIÉTÉS
APPLICATIONS GÉNÉRALES

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1903

(Tous droits réservés.)

P. MOISSONNIER

PHARMACIEN PRINCIPAL DE L'ARMÉE
CHEF DES LABORATOIRES DE L'USINE DE BILLANCOURT ET DU SERVICE DE L'INTENDANCE
DU GOUVERNEMENT MILITAIRE DE PARIS
EX-SECRÉTAIRE DE LA COMMISSION DE L'ALUMINIUM AU MINISTÈRE DE LA GUERRE

L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS — SES APPLICATIONS

HISTORIQUE — MINERAIS — FABRICATION
PROPRIÉTÉS
APPLICATIONS GÉNÉRALES

PARIS
GAUTHIER-VILLARS, ÉDITEUR
55, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55

1903
(Tous droits réservés.)

84921
APR 17 1905
MKL
.M72
6005973

PRÉFACE

« Supposer l'existence d'un métal supérieur au fer par ses précieuses propriétés et prédire son introduction dans l'industrie comme un des éléments les plus utiles à l'homme, ce serait là déjà un événement dont la possibilité, même reculée, fournirait un sujet intéressant de discussion.

» Mais, lorsque la présence de ce métal est réelle, en quantités immenses, il est vraiment remarquable qu'une substance aussi merveilleuse soit généralement regardée, dans ce siècle de progrès, simplement comme une curiosité chimique.

» Ce métal universellement distribué, quoique maintenant masqué, surpasse le fer en légèreté, lui est presque égal en résistance, n'est pas oxydé ou corrodé par les vapeurs acides, et, chose plus frappante, doit être rangé, sous le rapport de l'abondance, le troisième des constituants de la croûte terrestre.

» Ce métal depuis si longtemps espéré par l'industrie, c'est l'aluminium, ou argent tiré de l'argile. Les montagnes et les vallées contiennent partout de l'aluminium, et les pavés mêmes de nos villes sont de vraies mines de ce métal bien plus précieux que le fer.

» Bien que l'aluminium ait été isolé et qu'on en connaisse les remarquables propriétés depuis plus d'un demi-siècle, sa production n'a pas dépassé celle qui résulte d'une expérience de laboratoire, et il est aujourd'hui à un prix si élevé, qu'il est loin d'occuper sa véritable place dans l'industrie.

» En ce moment, toutefois, on fait d'énergiques efforts pour abaisser son prix de fabrication, et il se peut qu'on soit à la veille de voir un *âge de l'aluminium;* mais il faut attendre le résultat théorique et expérimenté de nouveaux procédés. »

Dr Edward Selft, Institute of Technology.
(Moniteur scientifique, 1887.)

Qui n'a été frappé, en parcourant ces lignes, des perspectives qui seraient ouvertes à l'activité humaine, du jour où, des affleurements même du sol, pourrait être extrait industriellement, un métal non seulement comparable, mais supérieur au fer « par l'ensemble de ses propriétés mécaniques, ne s'oxydant pas à l'air libre » et, dans la pratique, plus léger que le bois, le verre même?

A vrai dire, de 1840 à 1900, en remontant à Wöhler et Sainte-Claire Deville qui, le premier, avait réussi à l'isoler sous forme de globules brillants et malléables, l'aluminium ne constituait guère qu'une curiosité de laboratoire. Aussi, son prix de revient, d'abord très élevé, ne tombait guère au-dessous de 150 francs le kilogramme après les Expositions de 1867 et 1878 où il apparaissait sous diverses formes.

A partir de ce moment, la méthode H. Sainte-Claire Deville devenait industrielle à Salindres, et déjà le professeur Netto, de Berlin, installait en Angleterre une usine importante pour l'exploitation d'un procédé analogue, quand, vers 1885, surgit une méthode nouvelle basée sur la décomposition électrolytique des composés d'alumine.

A cette époque, Cowles en Amérique, Minet à Saint-Michel (Savoie) produisaient : le premier, les bronzes d'aluminium, le second, de l'aluminium à peu près pur et du ferro-aluminium.

Un peu plus tard, en 1886-87, on obtenait enfin directement l'aluminium par l'action du courant électrique sur l'alumine incorporée à un fondant approprié : la cryolithe ou fluorure double d'aluminium et sodium.

Des usines actionnées par la puissance des chutes d'eau se montaient à Neuhausen, à Froges-la-Praz près Modane, à Pittsburg (États-Unis).

C'est précisément à cette période de début de la production électrolytique de l'aluminium, alors que la marque française Héroult se classait déjà sur le marché des métaux de l'ancien et du nouveau continent comme « The best quality », que, nous trouvant en garnison à Belfort, il nous vint à l'idée de chercher à utiliser le nouveau métal pour l'allégement du matériel en usage dans l'armée.

Une densité des plus faibles n'excluant pas de sérieuses qualités mécaniques, dont une résistance voisine de celle du fer, un point de fusion de 600 à 700° (trois fois plus élevé que celui de l'étain), une malléabilité remarquable, une grande conductibilité pour la chaleur, une inaltérabilité inconnue dans les métaux usuels et paraissant devoir rendre superflue la protection extérieure sous forme d'étamages, émaillages, vernis plus ou moins plombifères : tout cela constituait une série d'indications de premier ordre pour une première utilisation pratique sous forme d'ustensiles destinés à l'alimentation des troupes en marche.

Mais, même pour ce genre d'applications restreintes, soit que cela tînt au prix trop élevé, soit pour d'autres raisons liées à certains essais hâtifs, l'opinion se trouvait partagée en deux camps bien tranchés :

D'un côté, les enthousiastes qui escomptaient déjà un âge de l'aluminium aussi fécond en surprises industrielles que l'avait été l'âge du fer ; de l'autre, ceux qui pensaient devoir réagir contre un engouement plus ou moins justifié et qui, s'appuyant sur quelques expériences malencontreuses, appelaient avec conviction l'aluminium le « métal de la déception ».

La vérité pouvait se trouver entre les deux appréciations extrêmes et c'est ce que ne tardèrent pas à confirmer nos premières recherches sur les nombreux échantillons reçus des anciennes fabriques chimiques et des usines électrolytiques.

Étudiant, en effet, les altérations résultant de l'action de l'air

humide et du contact des liquides usuels sur des lamelles dont la composition centésimale était établie au préalable, nous arrivions aux constatations suivantes :

« Après immersion plus ou moins prolongée, les pertes se manifestaient généralement sous forme de points d'attaque, petits îlots, correspondant à de véritables gammes d'altération, en rapport inverse du degré de pureté du métal. Il en était de même pour l'ensemble des propriétés mécaniques, naturellement subordonnées au bon état de conservation des lamelles. »

C'était donc très probablement du titre du métal, de la nature des alliages et aussi de la porosité plus ou moins grande de la masse, selon le degré d'écrouissage, que découlaient les anomalies signalées par les premiers expérimentateurs.

Nous avions donc une base sérieuse d'études, réel point de départ de ce travail, ainsi que d'un deuxième volume tout spécialement consacré aux choses militaires, qui paraîtra dès que l'autorisation ministérielle aura été accordée.

Ce n'est qu'en juillet 1892, après une longue série de recherches, que nous pûmes enfin adresser au Ministre de la Guerre un rapport signalant la possibilité d'employer l'aluminium et certains alliages légers, dans diverses parties du matériel militaire : ceci, *sous réserve de conditions spéciales à exiger, pour chaque cas particulier, ainsi que des progrès à réaliser dans la fabrication, tant au point de vue de la qualité que de la baisse du prix derevient.*

Le 12 novembre de cette même année, M. de Freycinet décidait la nomination d'une Commission composée des colonels et assimilés, chefs des diverses sections techniques au Ministère, avec mission d'étudier nos propositions, en même temps qu'il nous faisait le grand honneur de nous en nommer membre permanent.

Appelé de suite aux fonctions de secrétaire par le général président, nous nous attachâmes surtout à contrôler les recherches de laboratoire par l'étude pratique dans les fonderies, fabriques d'objets laminés, estampés, etc., etc.

Un peu plus tard, M. le professeur Moissan, qui avait bien voulu apporter à l'Administration de la Guerre l'appui de sa

compétence toute spéciale, intéressait à la question le regretté Président Carnot et, de même que cela s'était fait lors de la merveilleuse découverte de H. Sainte-Claire Deville, la haute autorité du Chef de l'État s'exerçait en faveur de l'allocation de crédits destinés à poursuivre les expériences.

C'est ainsi qu'une somme relativement importante put être consacrée à des essais en grand sur le matériel de campement aux grandes manœuvres de l'Ouest en 1894.

Par la suite, sur une échelle beaucoup plus vaste et, en regard de 2000 ustensiles en fer battu étamé seulement, le général Mercier, alors Ministre de la Guerre n'hésitait pas à doter le corps expéditionnaire de Madagascar de 45000 bidons et gamelles individuels en alliage léger d'aluminium ainsi que de 4 à 5000 marmites et gamelles collectives, le tout confectionné par simple emboutissage, sans soudures ni rivetage.

Cette initiative qui montre combien on commençait à apprécier le nouveau métal dans les milieux militaires, se trouvait heureusement sanctionnée par les comptes rendus unanimement favorables des vingt chefs de corps, signalant la supériorité incontestable du nouveau matériel : entretien plus facile, inoxydabilité, rapidité de cuisson des aliments, inutilité des étamages et soudures, causes si fréquentes d'intoxications saturnines : le tout combiné avec un allégement dépassant 5 à 600 grammes pour les ustensiles collectifs, une solidité plus grande et une plus longue durée.

C'était là un réel encouragement pour la Commission et, de fait, une orientation sérieuse vers un progrès intéressant le pays en général.

En effet, si, dans une collectivité aussi essentiellement mobile que l'Armée, il importe surtout d'alléger le poids mort, il est non moins désirable pour l'intérêt public et le bien-être général de rechercher les ustensiles d'alimentation propres, inaltérables, dépourvus de l'odeur et de la sapidité caractéristiques de certains métaux. D'autre part, le souci de l'hygiène générale commande d'éviter ceux de ces métaux qui, par eux-mêmes, par leurs impuretés ou par leurs matières couvrantes, sont

susceptibles de combinaisons toxiques avec les boissons ou les matières alimentaires.

Tant à ces points de vue que par l'ensemble des qualités chimiques, physiques et mécaniques de l'aluminium mises en lumière par les travaux de MM. Le Verrier, Lejeal, Carnot, Ditte, et par les recherches de nombreux spécialistes, il résulte clairement que le moment semble venu où l'Industrie, les Travaux Publics, les Postes et Télégraphes, les Finances, les Administrations de la Guerre, de la Marine et des Colonies pourront utiliser largement le nouveau métal.

Au prix de revient actuel : 3 francs le kilogramme, soit : 1 franc en tenant compte des densités relatives, par rapport au cuivre et à l'étain par exemple, et, étant données les qualités mécaniques comparées des alliages légers et des métaux usuels, on voit qu'il s'agit non seulement de la réduction du poids mort, mais encore d'économies budgétaires réelles à réaliser sur les marchés avec amortissement rapide du *work capital* par suite de l'inutilité des étamages, émaillages, peintures, etc., ces économies étant encore majorées de la valeur métallurgique que conservent les déchets d'objets en alumininium et alliages hors de service.

Qu'il nous suffise, sous le rapport des actions extérieures, de faire remarquer que, de tous les produits usuels, il n'est guère que les composés alcalins, chlorurés et mercuriels qui soient de nature à attaquer l'aluminium pur ou convenablement allié.

Quant aux bronzes à 85 et 90 0/0 de ce métal, déjà employés dans les chaudières et foyers de locomotives, les organes des machines installées dans les sous-sols humides, pièces diverses d'automobiles, moyeux de roues de voitures, etc., ils se perfectionnent de jour en jour et certains possèdent avec l'aspect et l'inaltérabilité de l'or, la résistance des meilleurs aciers, à laquelle s'ajoutent une malléabilité et une ductibilité remarquables.

Ne voyons-nous pas, tout d'abord, sous le rapport de la production industrielle, que notre pays se trouve en situation privilégiée, non seulement par ses gisements presque inépuisables

de minerai et l'importance des fabriques comme celle de Gardanne (Var), grâce à laquelle nous avons cessé d'être tributaires de l'Allemagne pour l'alumine et ses dérivés, mais encore par la réserve inépuisable d'énergie électrique que possèdent les chutes des Alpes, des Pyrénées et des autres massifs montagneux de la France?

Peut-on dire qu'il s'agit de données théoriques, alors que nous voyons notre commerce devenir exportateur du nouveau métal, de l'alumine pure et de ses composés, tandis que, par contre, la substitution de l'aluminium à certains métaux diminue d'autant une importation pour laquelle nous sommes tributaires de l'étranger pour des sommes considérables.

Ne voyons-nous pas la confirmation pratique de l'ensemble des qualités physiques, chimiques et mécaniques du nouveau métal, non seulement par les résultats acquis dans l'armée et dont ce qu'il est possible de livrer à la publicité se trouve délimité dans le rapport Moissan (1), mais encore dans diverses publications spéciales citées plus loin?

Ne sont-ils pas d'un heureux augure, ces essais hardis dus à l'initiative de nombreux officiers, industriels ou ingénieurs, le lieutenant-colonel Renard, directeur du parc aérostatique de Chalais, et ses distingués collaborateurs, dont le capitaine Jullien, les lieutenants-colonels Monteil, Marchand et le commandant Houdaille qui, des premiers et en expéditions lointaines, ont déjà su utiliser les alliages légers d'aluminium sous diverses formes, le lieutenant de vaisseau Hourst qui, au cours de sa mission hydrographique du Niger, a pu descendre 3500 kilomètres du grand fleuve, malgré les rapides, sur une embarcation de 15 à 20 mètres de long, tout entière en alliages légers d'aluminium, rivets et cornières compris, sans vernis ou peintures d'aucune sorte (2), M. Besson, ingénieur des construc-

(1) Édité à l'Imprimerie Nationale en 1896 sur ordre du Ministre de la Guerre.

(2) Embarcation ramenée à Paris après trois ans de voyage, sans que les embruns, les paquets de mer aux warfs de débarquement, les chocs à terre et sur les rapides, aient causé de détériorations sérieuses, en dehors de certaines actions galvaniques relevées sur les cornières fabriquées avec un alliage qui n'avait pas encore fait ses preuves.

tions navales, qui a publié, il y a quelques années, une brochure des plus intéressantes, ouvrant, sous certaines conditions à réaliser, des perspectives encourageantes pour applications dans la marine?

N'en est-il pas de même pour la confection des voitures-citernes, des fûts métalliques, ustensiles culinaires, des tubes pour optique, bicyclettes, etc.; des pièces fondues diverses pour automobilisme et autres usages, la construction surtout?

D'autre part, ne voit-on pas l'armée allemande expérimenter un matériel de campement, l'armée russe utiliser avec succès des fers à cheval en Finlande; l'Autriche-Hongrie fabriquer des arçons de selle, l'Angleterre des récipients à boisson pour la campagne contre les Achantis?

Enfin, en ce qui concerne l'action physiologique des composés d'alumine pouvant se former en certains cas, de récentes expériences ne démontrent-elles pas leur parfaite innocuité et le fait n'est-il pas constaté officiellement dans un rapport du chef du laboratoire Frédéric-Guillaume? Se ralliant, en effet, aux données de l'école française (Würtz), pratiquement confirmées par nos observations personnelles, celles de M. Moissan et autres personnes appartenant au monde scientifique et militaire, MM. Plagge et Liebelin y reconnaissent l'innocuité absolue et, bien plus, l'insolubilité dans les sucs gastriques de l'économie des composés d'alumine pouvant se former dans les préparations culinaires et au contact prolongé des boissons. A la légèreté, à l'inoxydabilité, à la malléabilité, à la résistance mécanique s'ajoute donc une sécurité absolue.

Nous verrons, de plus, que le nouveau métal est doué d'une grande sonorité et que la conductibilité pour la chaleur ou l'électricité est comparable à celle de l'argent ou du cuivre, et même supérieure si l'on tient compte des densités relatives.

L'aluminium semble donc réunir l'ensemble des conditions voulues pour résoudre en partie cette question de l'allégement qui a occupé les grands capitaines et les historiens militaires de tous temps et se trouve synthétisée par cette phrase du

maréchal Bugeaud : « Plus d'un homme, plus d'un cheval sont restés en route pour 1 kilogramme de trop sur le dos. »

Son usage ne s'en impose pas moins pour le convoyeur, principalement dans les colonies nouvelles, où une tonne de denrées du prix de 300 francs revient à 3000 francs dans certaines parties du Soudan et du Congo ; pour l'armateur qui doit compter avec la dépense de combustible ; pour la grande traction où le poids mort l'emporte parfois sur le tonnage réel, partout en un mot où il faut éviter la déperdition de forces vives ; sur ces véritables champs de bataille que représentent l'industrie, le commerce et la colonisation modernes : le succès ne pouvant qu'être fonction de la réduction des impedimenta et de la rapidité d'action, combinées avec un rendement supérieur en kilogrammètres ou kilowatts utiles selon cet axiome industriel et physiologique à la fois : *Utilisation de toutes les énergies organiques et mécaniques avec un minimum de pertes et déchets.*

On peut donc espérer voir enfin, dans la pratique se concilier ces deux qualités si opposées : la légèreté et la résistance mécanique.

Nous saurons montrer déjà que, en moins de treize ans, l'hypothèse invraisemblable du *Moniteur scientifique* de 1887 est devenue réalité, et on verra par des exemples probants, que « la curiosité de laboratoire » d'il y a un demi-siècle à peine se classe par l'ensemble de ses qualités, non seulement à côté, mais au-dessus des métaux usuels. De plus, on verra ce nouveau métal, d'abord réservé pour la bimbeloterie, ou, à petites doses, aux aciéries, doté de jour en jour de propriétés inconnues la veille, tant par les progrès de la fabrication que par l'écrouissage et la confection d'alliages légers ou de bronzes.

D'autre part, les essais sur la conductibilité électrique, où il est à prévoir que 1 kilogramme d'aluminium remplacera 2 kilogrammes de cuivre, constituent également d'importantes indications tant au point de vue des économies budgétaires, qu'à celui des transports en pays de pénétration, plus que jamais à l'ordre du jour. C'est ainsi qu'en Amérique, d'après l'*Étincelle électrique*,

d'importantes installations viennent d'être faites avec des conducteurs en aluminium et cela à l'exclusion complète du cuivre.

Ces lignes ont toujours très bien fonctionné depuis leur installation et n'ont donné lieu à aucun phénomène anormal, si ce n'est une sonorité assez grande qui ne présente aucun inconvénient appréciable. On estime que, dans la pratique, la conductibilité de l'aluminium est de 60 0/0 de celle du cuivre pur de Mathiessen et que le moment est venu d'examiner sérieusement l'utilisation de l'aluminium pour les lignes aériennes.

Malheureusement, de ce que, jusqu'à ces derniers temps, le titre du métal industriel n'oscillait guère qu'entre 900 et 985 millièmes (1), découlèrent parfois des conséquences peu encourageantes et de nature à faire reculer le progrès, surtout dans un pays aussi impressionnable que le nôtre.

Néanmoins, les applications s'étendent de jour en jour; la production annuelle, de plusieurs milliers de tonnes, peut à peine suffire à la consommation, aussi bien en France qu'au dehors, où déjà nos exportations sont des plus appréciables. L'Allemagne en particulier, qui aurait importé 1400 tonnes d'aluminium rien qu'en 1898, paraît, quoique indirectement, faire appel de préférence à l'aluminium français lorsqu'il s'agit d'un titre élevé, et ce, malgré le voisinage des puissantes usines suisses.

Ce mouvement ne peut que s'accentuer, mais à une condition essentielle qui ne diffère pas au reste, de celles exigées dans la métallurgie en général, où personne n'ignore qu'il suffit de pourcentages d'autres métaux, de traces de métalloïdes, gaz même ou de la moindre solution de continuité dans les dépôts électrolytiques pour compromettre les propriétés mécaniques des produits industriels.

Cette condition *sine qua non* est nettement définie à la suite de longues recherches théoriques et pratiques résumées dans

---

(1) Avec des quantités appréciables de sodium, d'alumine non réduite ou de réoxydation, de fer, etc., sans compter l'introduction inconsidérée dans les alliages d'éléments de nature à faire réellement pile avec la molécule générique.

cet ouvrage; elle se dégage au reste, d'une façon aussi autorisée que lumineuse, de la lecture des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, où tout récemment MM. Berthelot et Moissan ont été amenés à préconiser l'utilisation de l'aluminium dans les applications scientifiques et industrielles, en même temps que, à la suite d'une discussion de M. Moissan avec M. Ditte et d'après les résultats heureux obtenus dans divers corps d'armée et à Madagascar, nous voyons les conclusions précédentes s'accentuer à la condition :

« Que chacune des applications nouvelles soit, au préalable, l'objet d'une étude technique des plus sérieuses, selon toutes indications et contre-indications possibles. »

C'est bien la confirmation de nos prévisions formulées en 1892 et 1895, sous cette réserve spécifiée par le distingué professeur. Et c'est en perspective la place du nouveau métal bien marquée, non seulement dans le matériel destiné à l'alimentation et la vaisselle vinaire, les récipients à alcools, huiles minérales ou végétales, la monnaie de billon, les instruments de musique, de physique et d'optique, mais encore dans la traction, la navigation, les constructions mécaniques, en général, les transmissions de courants et énergies électriques.

Nous ne pouvons donc que nous réjouir d'avoir pu apporter notre petite part à la solution d'un problème posé depuis si longtemps dans les diverses branches de l'activité humaine.

Il nous reste à souhaiter que cette étude dont l'idée première remonte à l'expédition de Tunisie, puisse contribuer quelque peu, non seulement à augmenter le bien-être du soldat et faciliter la mobilité des troupes, mais encore à orienter l'opinion vers l'utilisation pratique et générale du nouveau métal.

Enfin, tout en rendant un hommage mérité à l'esprit d'initiative et de méthode de l'industrie nationale, il est bon de constater l'heureuse répercussion sur ses progrès des travaux de la Commission si opportunément constituée par M. de Freycinet, et maintenue jusqu'à ce jour par ses successeurs au Ministère de la Guerre.

Émanation des Comités d'armes et de services, tous intéressés

à la réduction de la charge et à la diminution des *impedimenta*, elle ne pouvait qu'aboutir à des conclusions précises, et nous nous faisons un devoir d'exprimer notre profonde gratitude aux ministres qui se sont succédés, ainsi qu'aux diverses personnalités du monde militaire et scientifique qui ont bien voulu nous honorer de leur bienveillant concours.

Ne pouvant, ici, citer les noms des généraux présidents et ceux des membres de la Commission, nous nous bornerons à reproduire un extrait du rapport de M. le professeur Moissan, nommé membre de la Commission en 1893, rapport édité en 1896 par ordre du Ministre et dans lequel sont résumés certains des résultats auxquels était arrivée la Commission.

EXTRAIT D'UN RAPPORT

ADRESSÉ EN 1896 A M. LE MINISTRE DE LA GUERRE SUR LES TRAVAUX DE LA COMMISSION DE L'ALUMINIUM FONCTIONNANT AU MINISTÈRE DE LA GUERRE DEPUIS LE MOIS DE NOVEMBRE 1892, PAR M. HENRI MOISSAN, MEMBRE DE L'INSTITUT.

Monsieur le Ministre,

A la suite d'un rapport de M. Moissonnier, pharmacien militaire à Versailles, M. de Freycinet, alors ministre de la Guerre, créa, le 12 novembre 1892, une Commission spéciale, chargée d'étudier l'emploi qui pourrait être fait de l'aluminium dans l'armée....

En résumé, parmi les différentes questions abordées par la Commission de l'aluminium, celle qui a fourni jusqu'ici les meilleurs résultats est la fabrication des objets de petit équipement, gamelles individuelles, gamelles pour quatre hommes, marmites, bidons et quarts.

L'industrie française est aujourd'hui à même de fournir par estampage ces différents objets en tôle d'aluminium.

Les ustensiles en aluminium présentent de réels avantages sur leurs similaires en fer-blanc. D'abord leur légèreté, ensuite la facilité d'entretien, l'inoxydabilité du métal qui ne laisse aucun mauvais goût aux aliments, la non-toxicité de l'alumine qui peut se produire parfois, la plus grande rapidité de cuisson des aliments et enfin la suppression des étamages et soudures.

Ces résultats, qui n'avaient pu être obtenus dans les premières fabrications, sont dus à une plus grande pureté du métal réduisant au minimum les actions électrochimiques au contact des liquides et des préparations usuelles,

à sa meilleure préparation et au choix d'alliages permettant un estampage plus facile et donnant plus de résistance et d'allongement.

Si la Commission a été arrêtée pendant un certain temps par la difficulté d'obtenir un métal convenable et des ustensiles d'une bonne fabrication, elle possède aujourd'hui des données précises sur la valeur des ustensiles en aluminium qui ont été unanimement préférés aux ustensiles en tôle.

La fabrication de l'aluminium prend d'ailleurs, actuellement en France, un développement qui permet d'espérer de nouveaux et meilleurs résultats.

C'est avec une réelle satisfaction que la Commission vient d'apprendre par les rapports des corps de troupe ayant participé à l'expédition de Madagascar, que les ustensiles en aluminium ont donné de bons résultats pendant toute la durée de cette campagne, même à bord où ils ont subi, sans préservation d'aucune sorte, l'action de l'atmosphère saline et parfois le contact de l'eau de mer.

Ces rapports sont d'ailleurs la confirmation des expériences faites depuis trois ans dans les divers corps d'armée de France et d'Algérie....

Veuillez, etc.

Signé : H. Moissan,
Membre de l'Institut.

Nous nous efforcerons ensuite de montrer comment, depuis 1896, les indications déjà si favorables consignées ci-dessus, n'ont fait que s'accentuer avec l'augmentation croissante du titre de l'aluminium, amélioration due sans conteste aux travaux d'études de la Commission ministérielle, et telle que de 900 millièmes environ en 1890, le degré de pureté était monté à 0,985 en 1895, pour arriver à 0,995 et plus en 1900. D'autre part, on verra comment le développement de l'industrie électrolytique appliquée à l'aluminium a pu faire passer la production globale de 200 tonnes en 1890 à 5 ou 6000 tonnes en 1900, par l'utilisation bien entendue des chutes d'eau des Alpes : Arc, Valoirette, Rhin, et de celles du Niagara.

En un mot, nous aurons à suivre toute une série ininterrompue de progrès relatifs à la production industrielle d'un métal à composition et alliages bien définis, utilisable dans la confection des objets les plus variés.

Après un court historique de la question, ce sont surtout les applications définies que nous chercherons à faire ressortir.

C'est, au reste, dans ce sens qu'ont été dirigées nos recherches

expérimentales, en réservant la protection du métal pour quelques cas particuliers seulement, mais à l'exclusion d'étamages onéreux et plus ou moins plombifères ou d'émaillages plus ou moins stables.

Enfin, un dernier chapitre comprenant les conclusions générales, et à la portée de tous, constituera le résumé de la production, des propriétés du métal et de ses alliages, avec indication des conditions à remplir en vue de leur utilisation pratique.

L'ALUMINIUM

SES PROPRIÉTÉS — SES APPLICATIONS

CHAPITRE PREMIER

Historique.

Il y a bien près d'un siècle que, le premier, Lavoisier suggéra l'existence des bases métalliques des terres et alcalis; mais il ne parvint pas à les isoler.

Vingt ans après, Sir Humphry Davy réussit à obtenir le sodium métallique et le potassium; mais il travailla en vain pour isoler la base de l'alumine.

Les vingt années suivantes furent marquées par les travaux de Berzelius et Œrstedt, et ce dernier, ayant pu remplacer dans Al^2O^3 l'oxygène par le chlore, essaya d'obtenir l'aluminium métallique en faisant un amalgame avec du potassium.

Le métal qu'il produisit ainsi avait un peu l'aspect de l'étain et il pensa qu'il avait enfin découvert l'élément cherché. Wöhler voulut ensuite préparer cet amalgame avec des substances très pures; mais il trouva la chose impossible et n'arriva pas au résultat d'Œrstedt.

Bien que la tentative d'Œrstedt eût été infructueuse, elle marqua cependant une époque dans l'histoire de l'aluminium par la direction qu'elle donna à toutes les expériences futures.

Œrstedt fut le premier à se servir du chlore, considéré depuis comme indispensable. C'est, du reste, sur son emploi que repo-

saient tous les procédés commerciaux qui furent usités les années suivantes pour la fabrication du métal.

Wöhler avait examiné la possibilité de traiter directement le chlorure d'aluminium par un agent réducteur quelconque et, comme résultat de ses travaux dans cette direction, il était parvenu, en 1827, à isoler le métal sous forme d'une poudre grise qui possédait bien, en cet état de division, quelques caractéristiques du métal solide, mais était excessivement variable dans ses propriétés. Il se trouvait aussi fréquemment souillé de potassium, sodium et de leurs chlorures (1827 à 1845).

Le savant chimiste obtint aussi de très petites quantités du métal en chauffant le chlorure et le potassium dans un tube de platine fermé. L'aluminium ainsi formé était très infusible, parce qu'il contenait sans doute du platine, très certainement de l'alumine de réoxydation.

Encouragé par cette découverte, il consacra toute son énergie à produire ce précieux métal en plus grande quantité. Il commença par se servir d'un tube de verre d'environ 4 millimètres de diamètre dans lequel il introduisit 250 grammes de Al^2Cl^6 exempt de fer; il mit celui-ci à part dans une partie du tube, mettant du potassium dans l'autre et fit passer de l'hydrogène dans le tube chauffé au rouge vif.

L'hydrogène et le chlorure volatilisés passèrent ensemble sur le potassium métallique préalablement incinéré, et le chlorure fut réduit en métal.

Malheureusement, Wöhler ne put rendre son procédé industriel, et le prix du potassium, très élevé, enlevait tout espoir de classer l'aluminium ainsi obtenu au rang des métaux usuels.

C'est alors (1854-1857) que H. Sainte-Claire Deville, après avoir essayé d'appliquer à l'extraction de l'aluminium le procédé électrolytique, qui avait permis à Bunsen d'isoler le magnésium, se mit à étudier la méthode Wöhler établie pour la production en grand du potassium (Brünner Mitscherlich); mais il ne tarda pas à substituer dans l'attaque du chlorure d'aluminium, au potassium, toujours très coûteux, le sodium plus facile à manipuler, d'un prix et d'un poids moléculaire moins élevés.

Reconnaissant cependant que l'obstacle au succès commercial était le prix du sodium, qui, en 1845, coûtait encore 2000 francs

le kilogramme, H. Sainte-Claire Deville se mit à l'œuvre pour abaisser le prix de la production et (1), après un certain nombre d'essais à la Sorbonne, il réussit à fabriquer industriellement ce corps dans l'usine Rousseau, à la Glacière, d'après la méthode arrêtée avec son collaborateur Debray.

Utilisant, d'autre part, un fondant approprié, la cryolithe ou fluorure double d'aluminium et de sodium, dont d'importants gisements à l'état de pureté venaient d'être découverts au Groënland, H. Sainte-Claire Deville réussissait enfin, en 1854, à isoler l'aluminium à l'état de pureté. C'est donc parallèlement aux travaux du chimiste allemand Wöhler, et sans les connaître, que l'illustre savant français, le premier, obtint le métal à l'état de globules brillants, ductiles, malléables et d'une légèreté extraordinaire.

L'Académie des Sciences s'intéressa bientôt à cette découverte et nomma une Commission chargée de suivre attentivement les progrès de l'invention dont le mérite revient donc à la fois à Wöhler et à Deville. Mais c'est bien celui-ci qui, le premier, a eu le mérite non seulement d'isoler l'aluminium en quantités appréciables et définies, mais encore de montrer les qualités du nouveau métal en vue des applications industrielles.

Aussi, le Gouvernement français ne ménageait-il pas ses encouragements et l'empereur Napoléon III (dont un officier d'ordonnance, le colonel Favé, professeur à l'École Polytechnique et homme de science des plus distingués, suivait les recherches de très près et avec le plus bienveillant intérêt) participait à l'œuvre par un don de 175000 francs, en même temps que l'Institut décernait son Grand Prix au distingué professeur de l'École Normale de Paris.

En 1855, on vit pour la première fois, dans le palais de l'Industrie, une barre d'aluminium préparée, à l'usine d'Anfreville près Rouen, par les frères Tissier qui avaient été attachés au laboratoire de H. Sainte-Claire Deville et, l'année suivante, Dumas montra à l'Académie le premier kilogramme produit.

Ce métal, doué de toutes les propriétés des métaux terreux et alcalino-terreux et en particulier de la légèreté, se distinguait entre tous, parce que, seul, il n'est pas altérable à l'air.

---

(1) Travaux exécutés à l'usine des produits chimiques de Javel (Dr M. de Sussex).

C'étaient donc des faits importants dans l'histoire du métal, puisque, jusqu'en janvier 1854, il n'avait été produit que sous forme d'une poudre par la méthode de Wöhler.

L'année suivante, Dumas présenta à l'Académie un casque fait de ce métal pour le roi de Danemark et constata que la fabrication du sodium avait tellement baissé de prix, qu'on pourrait produire facilement l'aluminium en grandes quantités à 100 francs le kilogramme. Quoique Dumas exagérât le bon marché du métal, son prix tomba de 3000 francs le kilogramme en 1857 à 300 francs en 1859.

En 1867, le métal reparut au palais de l'Industrie et huit ans après, sous diverses formes marchandes, en moulages, feuilles, plaques, fils et articles finis, polis, gravés et soudés déjà par des procédés sur lesquels nous aurons à revenir.

Deville, dès que ses méthodes furent reconnues heureuses, avait fondé une fabrique avec Debray et P. Morin dans l'usine de Rousseau frères, à la Glacière (1); leurs procédés furent ensuite perfectionnés sous la direction de Morin, à Nanterre, ainsi que par Merlésa-Voiglio, à Salindres, près d'Alais. Douze ans après, l'apparition du métal sous forme d'articles commerciaux, à l'Exposition de 1878, montra que la production par voie chimique avait atteint son maximum.

Plus tard, il est à constater que les Français ont été les premiers à appliquer sur une échelle pratique les méthodes de Wöhler modifiées par Deville, et c'est seulement dans ce pays que l'industrie de l'aluminium a réellement vécu.

Des expériences en grand avaient été faites à Berlin par le professeur H. Rose et par Gerhardt en Angleterre, pour produire le métal à bon marché. Puis Lothian Bell essaya de fabriquer l'aluminium commercialement à Newcastle-on-Tyne; mais il fut obligé, en 1874, de fermer son usine. Enfin, Würtz et Cie, en Allemagne, firent de vaines tentatives pour arriver à une production lucrative; mais c'est en définitive à l'usine française de Salindres qu'est resté le privilège de fabriquer l'aluminium sous les formes demandées par le commerce.

---

(1) Avec l'appui de M. d'Eichtal et la collaboration scientifique de MM. Le Châtelier, ingénieur en chef des Mines, Jacquemart, fabricant d'alun dans l'Aisne et ancien élève de l'Ecole Polytechnique.

Ici donc, comme cela a été constaté si souvent et comme cela vient de se produire encore à propos des travaux de Pasteur et de son École, se dessine bien l'esprit scientifique de notre race, cet esprit de réserve et de sagesse que nos pires détracteurs n'ont jamais pu englober dans leurs critiques touchant la légèreté du caractère national.

C'est bien selon la tradition des immortels travaux de Lavoisier, Payen, Dumas, Chevreul et autres savants dont s'honore la France et l'humanité, que H. Sainte-Claire Deville en particulier a établi ses méthodes dont la supériorité s'est maintenue jusqu'à l'apparition des nouveaux procédés électrolytiques.

Ces procédés déjà expérimentés entre temps, mais comme simples recherches de laboratoire, par H. Sainte-Claire Deville et par Bunsen, ont pu prendre rang parmi les procédés pratiques, après les heureux essais de Cowles sur la réduction directe de l'alumine par l'électricité et les méthodes industrielles exploitées, pour ainsi dire simultanément, en France et aux États-Unis.

En 1885, Cowles obtenait les bronzes d'aluminium, si durs et si résistants, en décomposant électrolytiquement l'alumine en présence du cuivre et d'autres métaux.

A la même époque, M. Minet établissait un procédé analogue, sur des bases absolument scientifiques, en vue de la production de ferro-aluminium et s'affirmait comme le véritable fondateur de l'électrométallurgie de l'aluminium.

En 1886, simultanément et sans qu'on puisse dire à quel pays en revient l'honneur, M. Héroult brevetait en France un procédé de fabrication des alliages d'aluminium par l'électrolyse, pendant qu'aux États-Unis M. Hall isolait l'aluminium de l'électrolyse d'un bain de fluorures.

Mais ces procédés laissaient dans le métal une teneur variable d'impuretés : charbon, silicium, sodium, fer, etc., véritables agents de décomposition, donnant naissance à des réactions électro-chimiques, causes d'altérations consécutives, comme celles dites piqûres ou encore provoquant la formation d'un enduit gris-noirâtre adhérent comme la plombagine, aux doigts ou au papier.

De 1889 à 1898, les procédés Héroult, Hall et Héroult-Kiliani perfectionnés permettaient enfin l'électrolyse directe de l'alumine

et la production d'un métal se rapprochant de l'état de pureté, surtout par les deux premières méthodes.

Tout cela ne peut qu'être d'un bon augure pour l'avenir de l'industrie française. Et si, pour certaines branches de la chimie industrielle, nous avons été distancés par d'autres pays comme l'Angleterre ou l'Allemagne, il ne saurait, on peut l'espérer au moins, en être de même pour la production de l'aluminium.

En effet, à part les États-Unis, on ne voit aucun pays disposant de ressources naturelles en minerais et chutes d'eau, sources d'énergie électrique, comparables à celles de la France. Aussi, est-il hors de doute que, lorsque les progrès de la métallurgie et les applications raisonnées, bien étudiées, auront donné au nouveau métal la place importante à laquelle il peut légitimement prétendre dans l'industrie, c'est par quantités considérables que se chiffreront la production et la consommation.

Il se produira donc de ce chef, et au profit exclusif de l'industrie nationale guidée par des savants comme MM. Le Verrier, Moissan, des chimistes et hommes de science comme MM. Minet, Lejeal, Héroult et par les travaux de la Commission de l'aluminium, instituée en 1892 par M. de Freycinet au Ministère de la Guerre, un déplacement certain dans le mouvement des métaux usuels et dans les chiffres des importations et exportations : l'aluminium étant appelé à se substituer partiellement, non seulement au fer et métaux dérivés, mais encore au cuivre, à l'étain, au zinc, produits de la fabrication étrangère, dont l'entrée en France dépasse annuellement le chiffre de 100 millions.

CHAPITRE II

Minerais d'aluminium. — Leur composition et leur traitement.

Avant d'arriver à la description des procédés chimiques et électrolytiques, nous aurons d'abord à examiner les minerais, leur composition, leur teneur en alumine, silice, fer, etc. ; nous étudierons les procédés connus généralement employés pour extraire des bauxites l'oxyde d'aluminium aussi pur que possible. Ces procédés, qui sont basés partout sur les mêmes principes, ne diffèrent guère que par des tours de main et des précautions particulières, tant pour le traitement au four que pour la purification de l'alumine.

L'aluminium est le métal le plus largement distribué sur la terre. On ne le trouve jamais à l'état métallique, mais toujours combiné avec l'oxygène. Sous cette forme : Al^2O^3, il est la base de la plupart des roches communes et le constituant principal des argiles. On le rencontre dans les porphyres, les roches ignées, et associé au quartz dans le granit, le gneiss, le mica, la syénite et même dans quelques grès. Le saphir, le rubis obtenus artificiellement par Frémy et par Gin, sont constitués par de l'alumine pure colorée par des traces d'oxydes de la même famille.

On trouve quelquefois, avec le corindon, l'émeri, des minéraux qui renferment 70 et 80 0/0 d'alumine, par exemple, à Chester, Mash, Newlin et Unionville, près Franklin, N. J.,

et l'on dit qu'il existe une véritable montagne d'alumine dans le Nouveau-Mexique.

On rencontre également l'alumine dans les dépôts de kaolin. Les argiles noires, schistes et ardoises associées à la houille et interposées dans ses couches, contiennent fréquemment plus de 20 à 30 0/0 de Al^2O^3. Pour des raisons en partie commerciales, les dépôts de bauxites françaises ou de provenance américaine, anglaise ou irlandaise, constituent avec la cryolithe d'Evigtok (Groënland) et de Norvège, les minéraux les plus communément usités dans la production de l'aluminium, comme dans celle des divers aluns. Cependant, par les méthodes de fusion électrique, on pourrait employer même les minerais réfractaires tels que l'émeri et le corindon.

§ 1. — De la Cryolithe.

La cryolithe se rencontre habituellement en masses compactes blanches, translucides, avec l'éclat vitreux.

Ce minerai se trouve en très grande abondance et pour ainsi dire chimiquement pur, comme l'a constaté le premier, H. Sainte-Claire Deville, dans le fiord d'Arksut (Groenland).

Le gisement d'Evigtok comporte un filon unique attaqué sur 180 mètres de longueur ; son épaisseur varie de 50 centimètres à $1^m,20$; il est encaissé dans le gneiss et contient divers autres minéraux dont il est nécessaire de séparer sur place la cryolithe.

Ce filon est exploité depuis la fin du XVIIe siècle pour la préparation de la soude ; mais l'exploitation ne devint réellement intensive qu'après la découverte en 1850, par le professeur Thomsen, de Copenhague, du procédé permettant d'en extraire directement la soude.

La cryolithe existe également à Miask, dans l'Oural.

La cryolithe appartient au système triclinique ; sa dureté est égale à 2,5 et son poids spécifique à 2,96. Quelquefois, on y découvre des cristaux d'apparence cubique, mais qui appartiennent en réalité au système cité ci-dessus.

Constituée par un fluorure double d'aluminium et sodium, de composition si bien définie que MM. Minet et Bernard ont pu la préparer industriellement de toutes pièces, elle ne renferme que 13 0/0 d'aluminium et des traces d'impuretés, en particulier de fer et silicium. Elle présenterait donc, à certains points de vue, des avantages sérieux sur les bauxites ferrugineuses et siliceuses, si difficiles à raffiner, sans la présence d'un autre élément constitutif: le sodium, dont il importe de ne pas retrouver trace dans l'aluminium.

M. Moissan, en effet, a pu constater l'action fâcheuse de cet élément sur l'aluminium, et expliquer par sa présence l'altération de certains spécimens du début de l'industrie électrolytique. Ceux-ci, comme l'a observé en particulier M. Jordan, professeur aux Arts et Métiers, se délitaient et tombaient en poussière après quelques mois. Nous avons fait la même constatation sur des spécimens d'aluminium provenant de l'électrolyse de la cryolithe et dans lesquels nous avons trouvé jusqu'à 0,3 et 0,4 0/0 de sodium.

Wöhler l'avait utilisée cependant et avait montré plusieurs de ses propriétés, parmi lesquelles, la plus importante peut-être, est la légèreté permettant de l'utiliser comme un fondant qui flotte à la surface du métal fondu.

Au moment des expériences de Wöhler, la cryolithe était importée en Allemagne comme soude minérale et servait pour les lavages et pour la préparation du fluorure d'aluminium utilisé dans la fabrication de ce métal.

H. Sainte-Claire Deville l'avait également employée dans un des procédés qui portent son nom et qui a été exploité à Newcastle-on-Tyne. De même, la cryolithe naturelle ou artificielle tenait un rôle important dans le premier traitement électrolytique Minet.

Mais aujourd'hui, tant à cause du faible rendement que de la difficulté de débarrasser le métal du sodium (parfois si abondant qu'on le voyait s'enflammer à la sortie des cuves) on ne recourt plus dans l'électrolyse qu'à la bauxite; aussi le paragraphe suivant sera-t-il consacré avec quelques développements à l'étude de ce minerai important.

§ 2. — De la Bauxite.

C'est Berthier, le chimiste créateur de la voie sèche, qui, en 1822, découvrit l'hydrate d'alumine aux « Baux » (Bouches-du-Rhône), d'où le nom de bauxite.

Gisements.

Bauxite française. — La teneur en alumine anhydre correspondait à 66,70 0/0 et le reste était formé de silice et de peroxyde de fer.

M. Le Châtelier, ingénieur des Mines, essaya de l'utiliser pour la fabrication du sulfate d'alumine; mais la proportion de fer du minerai se retrouvait dans ce sel et le rendait trop impur.

Plus tard, Sainte-Claire Deville s'en servit pour fabriquer l'alumine pure nécessaire à l'usine de Salindres (Gard); mais la proportion de silice contenue dans le minerai et les pertes de fabrication étaient trop élevées.

Les applications de la bauxite paraissaient donc avoir donné des résultats négatifs, lorsque fut découvert, par MM. Trouilloud et Augé, un filon-couche d'une roche pisolithique d'une couleur blanc-crème, constituant un gisement de 20 mètres d'épaisseur dans le tunnel de Saint-Pargoire près Villevayrad (Hérault) (1).

La composition d'un échantillon de choix était la suivante :

Al^2O^3	82,00 0/0
Eau	14,20 —
Silice	2,00 —
Oxyde de fer	0,10 —
Divers, non dosés	1,70 —

(1) Les gisements de bauxite blanche et rouge: silicate d'alumine, alumine anhydre ferrugineuse du Var et de l'Hérault, sont tellement abondants qu'en 1892 un seul occupe une couche de 8 mètres d'épaisseur, dans un bassin de 9 kilomètres de large sur 12 kilomètres de long, et qu'il avait fourni à l'Allemagne pour la préparation de l'alumine 200000 tonnes à 20 francs. La teneur est de 55 à 72 0/0 d'alumine anhydre.

Le minerai est de surface, à moins de soulèvements volcaniques et cela s'explique par sa légèreté, les métaux à densité forte : or, platine, argent, plomb, cuivre, fer s'étant déposés naturellement les premiers lors du refroidissement de la croûte terrestre, pour laisser émerger les composés à base d'alumine, glucine, lithine, magnésie, de densités plus faibles.

C'était presque un monohydrate d'alumine naturel $Al^2O^3H^2O$ ou du diaspore amorphe.

Cette bauxite présentait une propriété remarquable : elle était très rapidement attaquée par l'acide sulfurique ; aussi ne tardait-elle pas à être utilisée industriellement pour la fabrication directe du sulfate d'alumine, d'abord, en France, par la Société Augé, puis, en Amérique, par M. Harisson Broth, de Philadelphie, qui, pendant une dizaine d'années, avant d'avoir découvert les gisements d'Alabama (Géorgie), etc., étaient restés tributaires du minerai français.

La proportion de silice était malheureusement trop élevée en vue du traitement par la voie sèche et il était presque impossible de la séparer.

De plus, l'attaque au four à réverbère par le carbonate de soude telle qu'elle était pratiquée à Salindres d'abord, puis près de Breslau par M. Bergius, à Ludwigshafen par MM. Giulini, en Bohême par M. Rudemacher, entraînait des pertes considérables en soude et en alumine, par la formation du silico-aluminate de soude insoluble.

Aussi, les industriels allemands, qui s'approvisionnaient de matières premières exclusivement en France, demandaient-ils instamment du minerai aussi débarrassé que possible de cette silice.

C'est alors que MM. Laur et Augé découvrirent, dans les Bouches-du-Rhône, le Var, les Alpes-Maritimes, des gisements de bauxite rouge à pâte fine, homogène, ne contenant que de 1 à 3 0/0 de silice. Les exportations atteignirent rapidement le chiffre de 150 à 200000 tonnes par an, principalement à destination de l'Allemagne, de l'usine de Ludwigshafen, par exemple.

Mais, comme jusqu'à l'année 1895 ce pays réexpédiait l'alumine pure extraite de cette bauxite en Angleterre, en Amérique et même en France, notre pays se trouvait dans cette situation défavorable : d'être tributaire de l'étranger pour un produit originaire du sol national, puisque le minerai était chargé à Marseille débarqué à Hambourg et traité en Silésie (procédé Bergius) : pour revenir en France, grevé de tous les frais de transport, fabrication, bénéfices, tout en supportant des droits d'entrée élevés. Telle était la cause principale de la majoration sensible sur le prix de revient de l'alumine et de ses

composés, employés en grand pour la fabrication des aluns, sels employés dans les raffineries de sucre et autres applications analogues.

Telle était aussi la cause du prix élevé de l'aluminium, puisque 2 kilogrammes et demi d'alumine correspondent environ à 1 kilogramme de ce métal, d'après le rendement des procédés électrolytiques.

La bauxite se rencontre aussi dans le Puy-de-Dôme et dans l'Ariège, auprès de la Bastide-de-Serou.

Bauxite d'Autriche. — On a exploité pendant quelques années les gisements de Neustadt, mais l'extraction a été abandonnée par suite de l'impureté du minerai.

D'autres gisements non exploités ont été découverts en Carniole et en Styrie, notamment à Prichora. Voici les analyses faites par M. Gin des échantillons typiques de cette dernière localité.

BAUXITES DE PRICHORA

	Blanche.	Jaune.	Saumon.
	—	—	—
Alumine	61,2	51,8	49,6
Oxyde de fer	3,6	10,7	19,9
Silice	8,4	6,3	5,4
Acide titanique	1,1	1,9	0,8
Eau et non dosés	25,7	29,3	24,3

Il existe aussi des bauxites en Dalmatie ; elles sont exportées par le port d'Almissa à destination de quelques fabriques allemandes.

Bauxite d'Irlande. — Les gisements d'Irlande se trouvent dans le Comté d'Antim, au nord de l'Irlande.

Les mines sont situées à Strain, près de Ballyclare ; elles ont été ouvertes en 1872 par M. Georges Blakwell et Alexandre Sutherland.

La bauxite de Strain contient 50 à 56 0/0 d'alumine, 1,5 à 3 0/0 de fer et des proportions variables de silice.

La British Aluminium Company exploite les mines de Glenravel ; elle a installé à Larne Harbour une usine très importante où la bauxite est transformée en alumine pure par le procédé Bayer.

La bauxite de Glenravel contient 50 à 58 0/0 d'alumine 2 à 4 0/0 de fer, 3 à 10 0/0 de silice et 2 à 3 0/0 d'acide titanique.

Bauxite d'Amérique. — Il existe dans la Géorgie, l'Alabama, l'Arkansas, des centaines de millions de tonnes de bauxite contenant environ 5 0/0 de silice et d'oxyde de fer réunis et environ 4 à 5 0/0 d'acide titanique.

Ces minerais présenteront une très grande importance commerciale, tant pour la fabrication de l'aluminium que pour celle de l'alun et du sulfate d'alumine, ainsi que comme matière basique ou neutre, sous forme de briques ou garnissages pour les appareils métallurgiques.

Il est intéressant de noter que ces gisements de bauxite se trouvent dans le sud, non loin des sucreries.

Non seulement l'Amérique ne s'approvisionne plus en Europe, mais elle expédie déjà des minerais de la Géorgie et de l'Alabama en grandes quantités, par navires, aux fabricants de produits chimiques du Nord ; c'est ainsi que l'importation de la bauxite d'Irlande et de France a suivi la marche descendante suivante, pendant les quatre années finissant en 1892.

1889	13026	tonnes.
1890	12377	—
1891	8073	—
1892	5762	—

En une seule année, les trois États du Sud, la Géorgie et l'Alabama surtout, ont fourni un total de 8632 tonnes.

---

(1) Le Canada contient également des gisements, mais moins importants que ceux de France, pour le moment du moins.

Relativement à la composition chimique des diverses sortes de bauxites, les auteurs américains donnent les informations suivantes :

Intérieur. . .	Silice	1,13 0/0
	Oxyde de fer.	0,94 —
Extérieur. . .	Silice	2,6 —
	Oxyde de fer.	1,47 —

Mais, bien que ceci s'applique à la plupart des pisolithes, il en est dont la composition est homogène dans toute la masse.

La composition moyenne de la bauxite de bonne qualité de la Géorgie est à peu près la suivante :

Silice	3,00 0/0
Oxyde de fer.	1,50 —
Oxyde de titane.	4,50 —
Alumine.	57,67 —
Eau combinée	32,38 —

La teneur en humidité varie avec l'état des minerais ; les pisolithes n'en contiennent pas au delà de 1 ou 2 0/0 au plus.

Les portions les plus tendres de la bauxite renferment souvent jusqu'à 10 et 15 0/0 d'humidité. La moyenne pour la bauxite est de 2 à 3 0/0 en plus de l'eau combinée.

Dans bien des échantillons les plus purs, la silice et l'oxyde de fer tombent au-dessous de 1 0/0 de chaque élément ; dans tel cas, l'eau combinée s'élève de 1 à 2 0/0 et atteint de 32 à 34 0/0.

Dand donne la composition des hydrates d'alumine comme il suit :

Diaspore Al^2O^3, H^2O. .	Al^2O^3	85 0/0
	H^2O.	15 —
Bauxite Al^2O^3, $2H^2O$. .	Al^2O^3	73,9 0/0
	$2H^2O$	26,1 —

Quelques échantillons de bauxite présentent cependant la même composition que le diaspore.

Gibsite Al^2O^3, $3H^2O$. .	Al^2O^3	65,4 0/0
	H^2O	34,6 —

La gibsite existe sous forme de stalactites dans beaucoup de poches des gisements les plus purs de la Géorgie et de l'Alabama. La gibsite minerai, telle qu'on la rencontre avec les bauxites en Géorgie, présente à peu près la composition suivante :

Eau combinée	33,00 0/0
Silice	2,60 —
Oxyde de fer et oxyde de titane.	traces.
Alumine.	64,40 0/0

Lorsque l'eau combinée se maintient au-dessous de 31 0/0, dans les minerais grisâtres et blancs, il est de toute évidence que la silice présente une teneur élevée dans ces bauxites de Géorgie.

La bauxite pulvérulente présente en général plus de matière siliceuse que les pisolithes et autres parties plus dures du minerai. Elle contient souvent 5 0/0 de silice de plus que les parties plus dures.

Souvent la bauxite pulvérulente est parsemée de vernis ou de lits de silicate d'alumine (argile).

Analyse.

Méthode employée au laboratoire de la Pittsburg-Reduction Company. — On opère sur 1 demi-gramme de matière finement pulvérisée, qui est fondue avec beaucoup de précautions dans un grand creuset de platine, avec 8 grammes de bisulfite de potasse.

Après fusion, la masse est dissoute dans de l'eau à 40° centigrades en agitant constamment jusqu'à dissolution complète

On obtient la silice comme résidu ; il suffit de la recueillir par filtration, de la laver, calciner, sécher et peser.

La liqueur filtrée de la silice contient l'acide titanique, l'oxyde de fer et l'alumine.

Pour précipiter l'acide titanique, ajouter à la liqueur un léger excès d'acide sulfurique, réduire le fer au minimum par une addition d'acide sulfurique et chauffer doucement à l'ébullition pendant trois quarts d'heure.

L'acide titanique se sépare, on le filtre et on le traite comme la silice.

Il reste encore l'oxyde de fer et l'alumine dans la liqueur filtrée. Pour les obtenir, on précipite, par un léger excès d'ammoniaque, l'oxyde de fer et l'alumine, on redissout le précipité pour le reformer une autre fois, on filtre, lave, sèche, calcine et pèse pour avoir l'oxyde de fer, plus l'alumine.

On dose le fer dans ce précipité par une méthode connue quelconque et on obtient l'alumine par différence des poids de l'oxyde de fer plus alumine et de l'oxyde de fer seul.

Méthode de L. Campredon (1). — Les deux principaux débouchés de la bauxite étant : 1° la fabrication de l'alun et 2° la fabrication de l'aluminium et la première fabrication absorbant les trois quarts de la production de bauxite, la deuxième en utilisant un quart, il est évident que, lorsque la bauxite doit être employée pour la fabrication de l'aluminium, la valeur du minerai doit être calculée d'après la teneur totale d'alumine.

Il n'en est pas de même lorsque la bauxite est destinée à produire de l'alun. En effet, dans ce cas, on n'utilise que l'alumine soluble dans l'acide sulfurique.

En vue de mettre en harmonie les résultats des essais analytiques et les rendements industriels de la fabrication, les auteurs ont procédé à de nombreux essais qui les ont conduits à l'adoption de la méthode ci-dessous décrite :

Analyse des bauxites destinées à la fabrication de l'alun. — L'échantillon destiné à l'analyse est passé à travers un tamis de 100 mailles par pouce linéaire (40 mailles par centimètre linéaire).

Humidité. — Deux grammes sont chauffés à 100° centigrades jusqu'à poids constant et l'on constate la perte.

Alumine utilisable. — Prendre 2 grammes de bauxite et traiter

(1) D'après une note présentée par MM. B. Phillips et D. Hancock à l'*American Chemical Society.*

par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique froid à 50° B. (D = 1,53) ; faire l'attaque dans une capsule.

Chauffer graduellement jusqu'à l'apparition des fumées blanches d'acide sulfurique, agiter pour briser le gâteau qui s'est formé; couvrir avec un verre de montre et chauffer pendant dix minutes. Laisser refroidir, ajouter 100 centimètres cubes d'eau chaude et faire bouillir pendant dix minutes. Filtrer et laver complètement avec de l'eau chaude.

Faire refroidir le filtrat, porter le volume à 200 centimètres cubes et prélever: 1° 50 centimètres cubes correspondant à 500 milligrammes, pour doser l'alumine, l'oxyde de fer et l'acide titanique; 2° 50 centimètres cubes pour doser l'oxyde de fer et l'acide titanique.

Alumine. — Les 50 centimètres cubes de liqueur sont dilués à 300 centimètres cubes; on ajoute 2 centimètres cubes d'acide chlorhydrique et on fait bouillir, puis on verse dans la liqueur de l'ammoniaque jusqu'à léger excès.

Faire bouillir pendant cinq minutes et filtrer chaud: laver parfaitement avec de l'eau chaude. Le précipité est séché, calciné et pesé; il représente $Al^2O^3 + Fe^2O^3 + Ti^2O^3$. On obtient l'alumine en retranchant du poids total des oxydes le poids de l'oxyde de fer et de l'acide titanique obtenus par ailleurs.

Acide titanique. — 50 centimètres cubes de liqueur sont neutralisés soigneusement par l'ammoniaque jusqu'à léger trouble, que l'on fait disparaître par addition très modérée d'acide sulfurique. On porte le volume à 300 ou 400 centimètres cubes avec de l'eau et on fait bouillir pendant une heure.

Si la quantité de fer présente est notable, ce qu'on reconnaît à la couleur de la solution principale, il convient de réduire le fer au minimum par addition d'acide sulfureux sous forme de courant gazeux ou de solution aqueuse.

D'une manière générale, il faut tenir à peu près constant le volume de la liqueur bouillie en remplaçant par de l'eau froide le liquide évaporé; l'odeur de l'acide sulfureux doit persister jusqu'à la fin de l'ébullition. Filtrer à chaud sur un double filtre, laver, sécher, calciner et peser l'acide titanique.

Dosage de l'oxyde de fer. — Le mieux est de le doser dans le

filtrat de l'acide titanique en réduisant par le zinc et titrant au moyen de permanganate.

Dosage de l'alumine libre (celle qui se dissout à 100° centigrades en une heure, dans l'acide sulfurique à 50° B. Prendre 2 grammes de bauxite et les traiter, dans une fiole de Bohême, par 10 centimètres cubes d'acide sulfurique à 50° B. (D = 1,53). Chauffer pendant une heure au bain-marie à la température de 95 à 100° centigrades en agitant fréquemment. Ajouter 100 centimètres cubes d'eau bouillante et maintenir au bain-marie pendant dix minutes.

Filtrer, laver et continuer comme ci-dessus avec cette différence qu'il n'y a pas lieu de tenir compte de l'acide titanique, car il n'en est pas rentré en dissolution. L'alumine retient un peu de fer que l'on dose par les moyens habituels. On pèse $Al^2O^3 + Fe^2O^3$.

Alumine combinée. (différence entre l'alumine utilisable et l'alumine libre). — La différence entre la teneur d'alumine utilisable et celle d'alumine libre représente l'alumine combinée existant dans la bauxite sous forme d'argile, d'hydrate inférieur, etc.

USAGES

En dehors de sa transformation en alumine pour les nombreuses industries chimiques comme la fabrication des divers aluns, l'imperméabilisation des tissus, etc., ou la réduction par les procédés chimiques ou électrolytiques pour l'obtention de l'aluminium, la bauxite peut être employée comme matière réfractaire.

C'est ainsi que l'on fait, en Amérique, des briques pour le garnissage des fours basiques ou autres quand l'emploi des briques siliceuses est désavantageux. Mais cette application n'est devenue possible que depuis la découverte, dans le Sud des États-Unis, de bauxite à faible teneur en silice et oxyde de fer donnant une matière façonnée peu fusible.

Il est nécessaire, dans la confection de ces briques, d'employer de la bauxite chauffée très fortement pour chasser toute l'eau

combinée; après le moulage, on détermine la contraction dont elles sont susceptibles en les chauffant dans la région la plus chaude d'un four à briques; puis la matière est repulvérisée et remoulée de façon à obtenir des briques ne pouvant pour ainsi dire plus subir de contraction ultérieure.

En Grande-Bretagne, le sulfate d'alumine provenant de la bauxite est employé pour traiter les résidus de sucre, et convertir le sulfate d'alumine en alun de potasse.

Dans les pays à betterave, on retrouve aussi cette application qui s'étend d'autant plus que l'alun produit se vend à un prix suffisamment élevé, comparativement à celui du sulfate d'alumine, et que la récupération du sucre des résidus fournit aussi un appoint notable.

Enfin, les sous-produits : silice et oxyde de fer, séparés du minerai, peuvent être vendus aux usines à gaz pour les épurateurs.

Une bauxite est considérée comme marchande lorsqu'elle contient un minimum de 60 0/0 d'alumine et un maximum de silice de 3 0/0, la teneur en fer, plus facile à éliminer que la silice, n'étant pas spécifiée.

Les gisements ou carrières du Var peuvent en fournir des centaines de mille tonnes, dont partie destinée à l'usine de Gardanne (point de raccord des chemins de fer du Sud-Ouest avec la ligne Paris-Lyon-Méditerranée et intermédiaire entre les régions à minerais d'alumine et les usines d'aluminium de la vallée de l'Arc) et l'autre à l'exportation, à destination de l'Allemagne, de la Suisse et de l'Angleterre.

CHAPITRE III

Alumine.

PRÉPARATION DE L'ALUMINE

Alumine anhydre ou corindon. — Incolore, amorphe, pulvérulente ou cristallisée dans le système rhomboédrique. Densité légèrement inférieure à 4. Fusible aux températures les plus élevées seulement ; cependant moins dure que le diamant.

Alumine hydratée : ($3H^2O$.) — Masse gélatineuse insoluble dans l'eau ; existe cependant sous forme de modification soluble.

Malgré ses nombreuses applications et celles de ses composés : laques avec les matières colorantes, mordants, aluns cristallisés et calcinés, acétate d'alumine, etc., nous nous bornerons, pour ne pas sortir du cadre de cet ouvrage, à parler de l'oxyde anhydre et de sa préparation, à l'état de pureté, pour servir avec la cryolithe à la fabrication de l'aluminium.

Préparation ordinaire. — Consiste dans la calcination de l'alun d'ammoniaque : alumine anhydre très hygrométrique.

Préparation industrielle. — D'abord réalisée par Bergius, s'obtient aujourd'hui par divers procédés paraissant s'inspirer des mêmes principes généraux, à savoir :

Procédé Bayer. — La matière première est la bauxite du comté d'Antrim, qui est composée approximativement [de 56 0/0 d'alumine, 3 0/0 d'oxyde ferrique, 12 0/0 de silice,

3 0/0 d'acide titanique et 26 0/0 d'eau. Le minerai est broyé, tamisé et ce qui passe à travers le crible est calciné pour détruire toute matière organique. Il convient d'éviter une trop grande élévation de température, qui rendrait la matière plus résistante à l'attaque. L'appareil à calciner est du type Oxland et Hocking. Il consiste en un tube en fer de 33 pieds de long et de 3 pieds 1/4 de diamètre, doublé de briques réfractaires et monté sur galets de sorte qu'il peut être animé d'un mouvement de rotation. Il est incliné et chauffé par un foyer placé à la partie inférieure; les gaz de la combustion se rendent à travers le tube à une cheminée placée à l'extrémité. Le minerai est chargé de façon continue à la partie supérieure; par suite de la rotation du tube, il se rend lentement à l'autre extrémité où il est déchargé sur une plate-forme percée d'un orifice juste assez grand pour permettre aux morceaux de passer. De là, il est renvoyé dans un tube tournant de 30 pieds de long et de 2 pieds 1/2 de diamètre, placé au-dessous et incliné dans la direction opposée à celle du tube, où se fait la calcination.

Il est refroidi par l'air d'une machine soufflante, et conduit à un second broyeur où il est pulvérisé assez fin pour passer à travers un tamis de 30 mailles par pouce linéaire. Il est alors prêt pour le traitement chimique.

L'alumine broyée est attaquée dans des cuves par une solution de soude caustique de densité 1,45. La cuve est munie d'ouverture d'introduction et de décharge; son enveloppe porte une soupape de sûreté, une entrée pour l'introduction de la vapeur et une sortie pour l'eau.

La solution de soude est d'abord introduite en proportion convenable, et le minerai (ordinairement 3 tonnes) est ajouté lentement au moyen d'un appareil élévatoire, les palettes étant mises en mouvement pendant tout ce temps de façon à avoir un mélange intime.

On ferme l'ouverture d'introduction de la charge, envoie la vapeur et élève peu à peu la pression jusqu'à 70 ou 80 livres par pouce carré, que l'on maintient pendant deux ou trois heures jusqu'à réaction complète. Le robinet de vidange est alors ouvert et le contenu de l'appareil est chassé par sa propre pression dans les réservoirs placés à la partie supérieure du bâtiment.

La solution est étendue de façon à réduire sa densité à 1,23 et la solution d'aluminate de soude est séparée par le filtre-presse du dépôt rouge résiduel. Ce résidu insoluble est lavé, puis rejeté. (On ne lui a encore trouvé aucune appplication.) La liqueur filtrée est clarifiée à nouveau à travers de la sciure de bois contenue dans des cuves doublées de plomb, à parois inclinées, de 10 pieds de long, 6 de large et 3 de profondeur avec un rebord intérieur à 6 pouces du fond, sur lequel est placé un cadre portant un tamis à mailles de 1/8 de pouce. Cette seconde filtration est nécessaire pour obtenir de l'aluminate de soude convenablement pur.

La solution d'aluminate de soude peut être entièrement déposée par l'acide carbonique ; mais cela nécessite une régénération ultérieure de la soude du carbonate. Dans le procédé Bayer, l'aluminate est introduit dans des réservoirs de décomposition circulaires. La précipitation de l'hydrate d'alumine est effectuée par l'addition d'un excès de la même substance.

Une quantité convenable d'hydrate d'alumine est introduite dans l'appareil à décomposition où l'on envoie ensuite l'aluminate. Le tout est soumis à une continuelle agitation. Au bout de trente-six heures, 70 0/0 de l'alumine en combinaison avec la soude a été précipitée. On cesse d'agiter, l'oxyde se dépose et la liqueur décantée est conduite dans des réservoir à liqueurs faibles. La bouillie d'hydrate est passée au filtre-presse ; on en met en réserve une quantité suffisante pour décomposer l'aluminate dans une opération suivante. La liqueur filtrée est encore conduite dans un réservoir à liqueurs faibles. Les tourtaux sont lavés sur place jusqu'à ce qu'ils ne contiennent plus de soude et séchés, autant que possible, par un courant d'air chaud. L'alumine séchée est conduite dans un four de calcination.

Après calcination, l'alumine est étendue sur une aire dallée, froide.

Les liqueurs faibles provenant de la décomposition de l'aluminate ont une densité de 1,2 et doivent être concentrées dans un évaporateur à triple effet, jusqu'à ce qu'elles acquièrent une densité de 1,45 pour pouvoir attaquer la bauxite calcinée. L'eau évaporée de la solution est à la température de 100 degrés et, étant pure, peut être employée pour l'alumine hydratée et

alimenter le générateur. Toutes les eaux résiduelles de la fabrication sont recueillies dans une citerne placée dans la cour et pompées pour être employées à laver le résidu rouge, dissoudre la soude, etc. ; de sorte qu'on retrouve ainsi de petites quantités de soude ou d'aluminate qui auraient pu être perdues au cours du traitement. (*Moniteur scientifique* de Quesneville.)

Procédé Laur. — 1° La bauxite est finement pulvérisée, d'abord au moyen d'une meule verticale, puis mélangée intimement avec du carbonate de soude. Le mélange est fait pour une opération dans les proportions de 480 kilogrammes de bauxite pulvérisée (contenant 75 0/0 d'alumine) pour 300 kilogrammes de sel de soude à 90° alcalimétriques.

Ce mélange est introduit dans un four à réverbère, rappelant assez la forme des fours à soude, que l'on chauffe fortement; on brasse la masse de temps en temps et l'on chauffe jusqu'à ce que tout le carbonate ait été attaqué, ce que l'on reconnaît par une prise d'essai qui ne doit plus faire effervescence par les acides; l'opération dure de cinq à six heures.

2° La fabrication de l'alumine pure par voie humide comprend diverses phases.

a) Dissolution de l'aluminate. — L'aluminate de soude produit dans le four est un corps jaune-vert que les Allemands fabriquent industriellement. Il doit être pulvérisé avant traitement.

Quand l'aluminate a été broyé, on le jette dans l'eau bouillante : dans le bac D, un jet de vapeur doit maintenir la température aussi élevée que possible et servir à remuer la matière en même temps *(fig. 1)*.

Quand la dissolution est supposée bien complète, on ouvre un robinet en agitant et on projette la matière dans l'essoreuse F, qui sépare rapidement l'aluminate dissous du peroxyde de fer, qui est l'unique résidu de la fabrication.

Lorsqu'on a bien lavé, dans l'essoreuse, le peroxyde de fer à l'eau bouillante, l'aluminate liquide va se clarifier dans des citernes de dépôt pour être traité ensuite par l'acide carbonique.

b) Dépôt des liqueurs d'aluminate. — Les citernes de dépôt se font simplement en briques revêtues de ciment.

c) Carbonatation. — Quand les liqueurs sont clarifiées, et à 16° B. environ, il faut les traiter par l'acide carbonique qui précipite l'alumine et régénère le carbonate de soude.

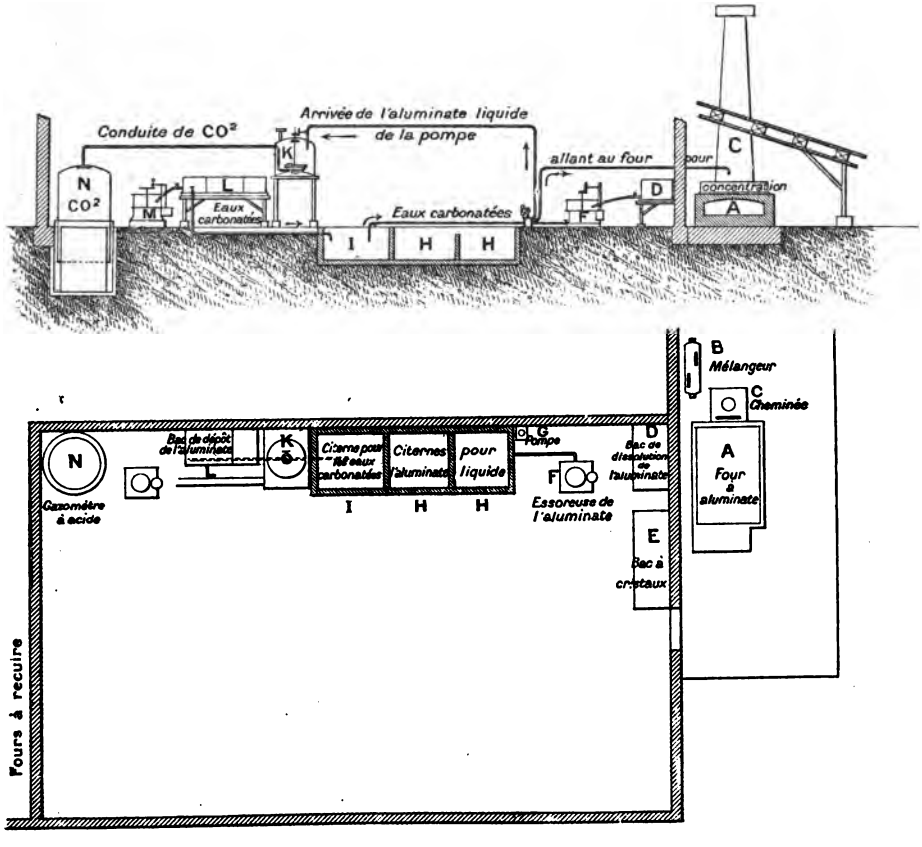


FIG. 1. — Fabrication de l'Alumine pur. — Traitement de l'Aluminate par voie humide.

Pompes. — A cette effet, une pompe G envoie l'aluminate dans le bac de carbonatation K.

Bac de carbonatation.—Le bac de carbonatation contient environ 9000 litres. Il doit contenir des palettes intérieures pour tenir en suspension l'alumine qui précipite très rapidement.

Gazomètre à acide carbonique.—L'acide carbonique sera produit avec un petit foyer à coke; au moyen d'un poids que l'on peut enlever ou placer sur la cloche du gazomètre, on peut alternativement la faire fonctionner comme aspirateur des gaz

du foyer, ou comme compresseur pour envoyer le gaz dans le carbonateur.

d) Traitement de l'alumine pure. — L'alumine pure très blanche, précipitée dans le carbonateur, est décantée avec les eaux de carbonate de soude dans le bac L que l'on pourrait même supprimer pour une petite production, en admettant le précipité à laver directement à l'essoreuse. Il ne reste plus à ce moment qu'à sécher les pains d'alumine pure produite par l'essoreuse, ce qui se fait spontanément dans un magasin.

e) Traitement des eaux carbonatées. — Les eaux qui sont sorties de l'essoreuse sont des liqueurs de carbonate de soude à 13 ou 14° B. environ.

Il y a lieu de les traiter, soit pour en retirer le carbonate de soude, soit pour le faire rentrer dans la fabrication, soit pour le vendre comme cristaux de soude. Les eaux provenant de l'essoreuse sont donc amenées par un tuyautage ou un conduit dans la citerne I. Là, elles sont reprises par la pompe G et envoyées sur le four dans la bassine de concentration.

Quand les liqueurs ont atteint 32° B., on les coule dans des cristallisoirs ou bacs à cristaux E. Là, elles cristallisent. Le produit est vendu ou peut retourner à la fabrication.

Procédé Peniakoff. — Le procédé Peniakoff, appliqué sur une grande échelle à Huy (Belgique), comportait, à l'origine, le processus suivant :

La bauxite était fondue dans un fourneau approprié, avec du sulfate de soude et du sulfure de sodium, de manière à réaliser la réaction suivante :

$$4\,Al^2O^3 + Na^2S + 3\,SO^4Na^2 = 4\,Al^2O^4Na^2 + 4\,SO^2.$$

Le sulfate d'alumine (1) obtenu était traité par le sulfure de carbone ou des sulfures métalliques :

$$(SO^4)^3Al^2 + 6\,CS^2 = Al^2S^3 + 6\,CO^2 + 12S$$

ou

$$(SO^4)^3Al^2 + 3\,Na^2S = 3\,SO^4Na^2 + Al^2S^3.$$

(1) Il n'est pas dit comment on passe de l'aluminate de soude au sulfate d'alumine seul ; mais cela ne paraît pas présenter ici une sérieuse importance.

Pour retirer l'aluminium du sulfure, il suffirait alors de réduire ce dernier par le plomb ou le fer.

Ce procédé, qui paraît compliqué, présentait l'avantage d'une récupération continue des réactifs d'attaque.

Il a été notablement modifié par la suite et comporte aujourd'hui les opérations suivantes :

On fait un mélange de sulfate de sodium et de pyrite avec la bauxite et l'on chauffe à haute température. L'aluminate de soude se forme d'après la réaction suivante :

$$11\,Al^2O^3 + 11\,SO^4Na^2 + 2\,FeS^2 = 11\,Al^2O^4Na^2 + Fe^2O^3 + 15\,SO^2.$$

L'aluminate sodique est dissocié par les procédés ordinaires et l'acide sulfureux mélangé à l'air sert à la décomposition du chlorure de sodium (réaction Hargreaves) pour la production de sulfate de soude et de chlore.

L'invention de Peniakoff est caractérisée par la substitution du sulfate de soude à la soude, pour la désagrégation de la bauxite, avec cette circonstance que cette réaction, déjà connue, s'effectue dans des conditions permettant la régénération des réactifs ou la production de sous-produits de valeur relativement considérable.

Enfin, Peniakoff a proposé récemment de déferrer préalablement les bauxites en les calcinant en atmosphère réductrice et les faisant passer, après pulvérisation, dans un trieur magnétique qui sépare l'oxyde de fer.

PURIFICATION DE L'ALUMINE

Procédé Lœwing. — Aucune des méthodes de fabrication industrielle de l'alumine ne permettant de l'obtenir à l'état de pureté absolue, il est bon de la purifier.

On peut débarrasser l'alumine du fer en partant du sulfate Parmi les procédés employés, on cite celui de Lewing, de Goldschmieden (Silésie), comme permettant la séparation complète du fer. La solution neutre du sulfate d'alumine est électrolysée dans de grands bacs doublés de plomb.

La doublure de plomb sert d'anode, les cathodes sont des lames de fer ou de cuivre. Tandis que le fer se dépose sur la cathode, il se forme aux anodes du sulfate et du bioxyde de plomb.

Il faut régler le courant de façon à éviter le dégagement d'oxygène au pôle positif; on y arrive en augmentant convenablement la surface des anodes.

Procédé Klobulow. — Le procédé de M. Klobulow ressemble au précédent, sauf que, dans ce dernier, l'électrode négative est en mercure.

Procédé à la cryolithe. — La cryolithe, du Groenland spécialement, étant un minerai des plus purs, pourrait sans doute avantageusement être employée pour les cas où l'on aurait besoin d'alumine chimiquement pure, soit en vue de la fabrication d'aluminium affiné, soit pour d'autres usages.

La cryolithe finement pulvérisée est aisément décomposée par une lessive de soude portée à l'ébullition.

Si la solution sodique marque au moins 30°B., le fluorure de sodium se dépose et l'aluminate reste en dissolution: ces deux sels se séparent assez facilement en concentrant la liqueur à froid, à cause du peu de solubilité du fluorure de sodium.

Procédé électrique de Hall. — Le procédé de purification de la bauxite proposé par M. Hall, de Niagara-Falls, consiste à traiter la bauxite dans un four électrique à résistance, en présence d'une proportion convenable de charbon. L'oxyde de fer et la silice sont réduits et forment du ferrosilicium qui est évacué. Il reste un oxyde d'aluminium cristallisé, qui contient plus de métal que l'oxyde Al^2O^3.

Ce procédé a été appliqué en France, dès l'année 1896, par M. Gin, qui fabriqua ainsi plusieurs centaines de tonnes de corindon artificiel, employé sous le nom de « diamantite », pour la fabrication des meules artificielles et des produits de polissage. M. Hall, dans un nouveau brevet, a modifié son procédé et traite la bauxite au four électrique, en employant comme agent de réduction, non plus le carbone, mais l'aluminium ou l'un de ses alliages.

Enfin, pour les bauxites siliceuses, M. Hall a proposé tout récemment de fondre la bauxite avec un fluorure métallique. Il se forme du fluorure de silicium gazeux qui s'élimine spontanément.

CHAPITRE IV

Préparation de l'aluminium.

Equiv. Al = 13,5 P. atom. Al^2 = 27.

PROCÉDÉS CHIMIQUES

Les procédés chimiques ayant été industriellement supplantés par les procédés électrolytiques qui seront détaillés plus loin, ce chapitre sera plutôt d'ordre théorique.

Il peut cependant offrir un intérêt à cause des efforts actuellement tentés pour revenir au traitement direct du minerai par des procédés analogues à ceux employés pour l'extraction de l'or, de l'argent ou du zinc, par exemple.

Mais, dans ce cas particulier : amalgamation, chloruration, cyanuration, coupellation, sublimation ou grillage avec fondants, ne semblent pas pratiques Il ne paraît pas possible, en effet, par suite de la teneur des diverses bauxites en fer et silicium, d'arriver à un degré de pureté suffisante et, d'autre part, il semblerait difficile d'éviter une oxydation ultérieure des particules obtenues par une sublimation consécutive à des réactions chimiques, l'aluminium étant aussi oxydable à sa température de fusion qu'il l'est peu à froid.

Les différents procédés usités étant basés sur les mêmes principes, nous nous bornerons à résumer ci-dessous ceux employés en France, en Allemagne et en Angleterre, ces derniers généralement sous la direction de chimistes allemands.

Nous ferons suivre ces exemples du traitement de la cryolithe, déjà indiqué par H. Sainte-Claire Deville et usité en Angleterre, à Newcastle-on-Tyne.

Il est également question de recherches, à l'étranger et en France, basées sur le traitement de la bauxite à l'autoclave, par exemple, par divers composés chimiques; il en sera parlé plus loin; mais, quelque ingénieuses que puissent être les méthodes proposées, elles ne semblent pas appelées à donner un métal suffisamment pur et sous une forme industrielle.

MÉTHODES INDUSTRIELLES

Le procédé de Deville est le premier qui ait suffisamment répondu aux besoins du commerce pour mériter le titre d'industriel. Il fut employé pendant plusieurs années à l'usine de Salindres (Gard), où l'on produisit au maximum 2400 kilogrammes d'aluminium par an.

Le procédé de Deville consistait à chauffer progressivement, dans un four à réverbère, le chlorure double d'aluminium et de sodium (1) mélangé avec du sodium (2) et de la cryolithe comme fondant; l'aluminium était séparé, tandis qu'il se formait du chlorure de sodium.

La matière première aluminifère était la bauxite, qui était d'abord transformée en alumine pure, puis convertie en chlorure double d'aluminium et de sodium par diverses opérations ci-après résumées :

1° Préparation de l'aluminate de soude en calcinant un mélange de bauxite (Al^2O^3 et sesquioxyde de fer) et de carbonate de soude, puis en faisant dissoudre et séparant par filtration l'aluminate soluble du sesquioxyde de fer.

2° Préparation de Al^2O^3 en le précipitant de la solution sodique au moyen de CO^2, ainsi :

$$Al^2O^3\ 3\ (Na^2O) + 3\ CO^2 + 3\ H^2O = Al^2O^3\ 3\ H^2O + 3(Na^2CO^3).$$

3° Préparation du mélange composé de Al^2O^3, de charbon et

(1) Matière coûteuse, difficile à préparer, d'un maniement et d'une conservation peu commodes.

(2) Au lieu du potassium de Wöhler, le sodium préparé par le procédé Deville revenait à 10 francs au lieu de 100 francs, l'ancien prix.

de sel ; séchage et traitement par le chlore pour obtenir le double chlorure.

La formation du chlorure double par l'action du chlore sur un mélange de charbon et de sel, s'exprime ainsi :

$$Al^2O^3 + 3C + 2NaCl + 6Cl = (Al^2Cl^6 + 2NaCl) + 3CO.$$

4° Préparation du sodium extrait par le traitement au rouge vif du mélange de carbonate de soude, houille et craie, dans des tubes de fer fermés à une extrémité et portant à l'autre un tube de dégagement muni d'un récipient à condensation.

$$Na^2CO^3 + 2C = 2Na + 3CO.$$

Finalement la réduction du chlorure double par le sodium est :

$$Al^2 Cl^6, 2NaCl + 6 Na = 2 Al + 8 NaCl.$$

Le procédé ne donnait guère que 8 0/0 de métal par rapport

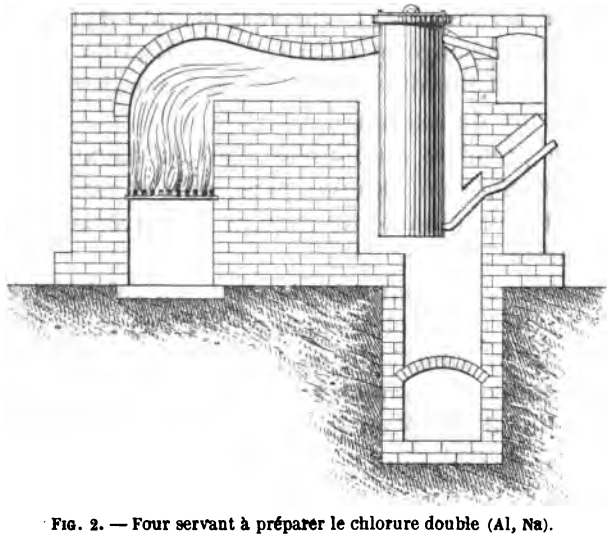


Fig. 2. — Four servant à préparer le chlorure double (Al, Na).

au poids de cryolithe employée et exigeait 4 kilogrammes de sodium pour obtenir 1 kilogramme d'aluminium.

Les figures 2 et 3 montrent la disposition générale des fourneaux employés.

La figure 2 représente le fourneau pour la production du

chlorure double. Cette opération s'effectue après que les ingrédients sont placés dans le cylindre vertical et que le gaz est introduit d'en bas dans l'intérieur. Le chlorure se condense dans le récipient qui se trouve à droite.

La figure 3 montre le four pour la réduction du chlorure double : ici on se sert de la cryolithe comme fondant pour protéger la surface du métal fondu.

On éprouva d'abord, dans la fabrication de l'aluminium, beaucoup de difficultés à trouver un fondant dont la densité fût

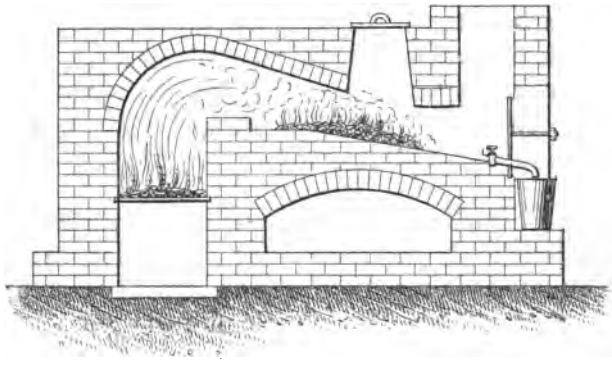


Fig. 3. — Réduction du chlorure double.

suffisamment faible et qui en même temps ne contînt pas de fer ; la cryolithe paraît répondre parfaitement à ce desideratum et elle produit un laitier très fusible au-dessous duquel s'amasse le métal.

Les proportions des constituants pour la charge dans le fourneau représenté sont :

Chlorure double	100	kilogrammes.
Cryolithe	45	—
Sodium	35	—

On pulvérise et l'on mélange le chlorure double et la cryolithe, et puis on les partage en quatre parties. Le sodium est divisé en trois parties et mis dans l'intérieur, de façon à avoir sous lui, dans le centre du fourneau, une couche de chlorure double et de cryolithe, et ainsi de suite, en couches successives, le mélange de cryolithe se trouvant au sommet.

Dès que la chaleur est appliquée, la première coulée se compose de laitier fondu, puis d'aluminium et enfin de cendres grises contenant de petites portions de ce métal.

La Société de l'Aluminium vendait l'aluminium ainsi produit à raison de *120 à 130 francs le kilogramme*. Un tel prix rendait le métal à peu près inabordable (1).

Sainte-Claire Deville avait étudié, puis abandonné, d'autres procédés de fabrication, comme les suivants :

a) Réduction du chlorure double d'aluminium et de sodium par la pile. — Dans cette opération, la détérioration des électrodes en charbon de cornue employées était complète, et, à la fin de l'opération, on perdait une grande partie du chlorure double pour réunir ensemble, par l'application d'une température élevée, les globules métalliques formés.

b) Procédé de Deville et Castner. — Castner perfectionna le procédé de Deville en imaginant une fabrication moins coûteuse de l'alumine et du sodium et y adjoignant la préparation du chlore par le procédé Weldon. Ce procédé fut appliqué à Oldham près de Birmingham.

Le prix de revient du métal était voisin de 50 francs, alors qu'il atteignait 80 francs à Salindres. Ce procédé disparut lors de la réussite des méthodes dérivées de celle de Minet. L'alumine était préparée par le procédé Webster, au moyen de l'alun. Le chlorure double était fabriqué par les mêmes moyens qu'à Salindres, mais la quantité de fer entraînée par le chlore était réduite à tel point que l'aluminium métallique n'en contenait plus que 0,1 0/0, alors que celui de Salindres en renfermait jusqu'à 4 et 5 0/0.

Le sodium était obtenu par le procédé Castner, avec de la soude caustique et de la soude très carburée préparée par la réduction du peroxyde de fer en présence d'un excès de carbone.

---

(1) Non seulement l'alumine se fabriquait à Salindres, mais le sodium lui-même s'obtenait sur place. Dans une opération, on employait, comme on l'a vu, 100 kilogrammes de chlorure double, 45 kilogrammes de cryolithe et 35 kilogrammes de sodium et on retirait environ $10^{kg},500$ d'aluminium qui pouvait être livré au commerce, au sortir du four à réduction. (Voir pour plus de détails le tome III de l'*Encyclopédie de Frémy*).

D'après Roscoe, le fer ne joue aucun rôle dans la réaction et le carbone agirait seul suivant la formule :

$$3\,NaOH + C = Na^2CO^3 + 3\,H + Na.$$

La décomposition du chlorure double se faisait dans des fours à réverbère chauffés au gaz et munis d'une sole carrée inclinée.

Une charge comportait :

Chlorure double	544	kilogrammes
Cryolithe	272	—
Sodium	159	—

On obtenait 54 kilogrammes d'aluminium au titre de 99 0/0 de pureté.

c) Réduction de la cryolithe par le sodium. — Procédé employé pendant quelque temps dans l'usine des frères Tissier, près Rouen, malgré son faible rendement : le tiers seulement de l'aluminium contenu dans la cryolithe (1).

Procédé allemand. — En Allemagne, à Brême, s'était installée, il y a quelques années, une usine qui employait le procédé du docteur Gretzel pour fabriquer du magnésium en grande quantité par la décomposition électrolytique du chlorure double de magnésium et de potassium (carnalitte).

Le magnésium ainsi fabriqué et revenant à 30 ou 35 francs le kilogramme était produit en quantité bien supérieure à sa consommation.

Le docteur Gretzel l'employa à déplacer l'aluminium dans le chlorure d'aluminium.

Ce dernier était préparé comme à Salindres et le sodium était simplement remplacé par le magnésium. L'aluminium ainsi produit était vendu 65 marks, non compris les droits d'entrée.

---

(1) $Al^2Fl^6, 6\,NaFl + 3\,Na^2 = 12\,NaFl + Al^2.$

(Procédé Percy.)

PROCÉDÉS NOUVEAUX

Procédé de l'Ingénieur Grabau, de Hanovre. — M. Grabau est arrivé à obtenir l'aluminium par petites quantités en employant un procédé très original au point de vue chimique et basé sur la réduction du fluorure d'aluminium (1) par le sodium.

Cette réduction est très vive, très rapide et s'effectue dans un vase de fonte dont les parois sont revêtues intérieurement d'une couche de cryolithe de plusieurs centimètres d'épaisseur.

Le fluorure d'aluminium ne fond pas et il est au préalable porté au rouge.

Dès que le lingot de sodium, chauffé à une température voisine de son point de fusion, est projeté dans le vase à réduction, une réaction intensive commence et il se fait là un véritable bouillonnement projetant même quelquefois une flamme de sodium sous le couvercle.

Le résultat de l'opération qu'on peut écrire théoriquement

$$2(Al^2Fl^6) + 3Na^2 = Al^2 + Al^2Fl^6, 6NaFl$$

est un culot d'aluminium surmonté d'un bain de fluorure double d'aluminium et de sodium, c'est-à-dire de cryolithe. On voit donc que l'aluminium n'est pas entièrement retiré de son fluorure.

Dans ce procédé, le fluorure d'aluminium est lui-même préparé par l'action du spath fluor sur le sulfate d'alumine, opération qui est faite en dissolvant le sulfate dans l'eau et en traitant cette liqueur chauffée à 60° pendant plusieurs heures par du spath fluor finement pulvérisé. Le bon marché de l'aluminium obtenu par ce procédé provenait du prix relativement bas du sodium (1 fr. 50 à 2 francs le kilogramme) obtenu par la méthode de M. Grabau et consistant à décomposer directetement le sel marin par le courant électrique.

---

(1) S'obtient en transformant le sulfate d'alumine en fluorure par traitement avec la cryolithe :

$$Al^2(SO^4)^3 + Al^2Fl^6\ 6\,NaFl = 2\,Al^2Fl^6 + 3\,Na^2SO^4$$

Le métal obtenu par ce procédé était d'une pureté remarquable.

En comptant sur une fabrication de 20 kilogr. par jour, M. Schon, ingénieur des Mines, estimait que le prix de l'aluminium ainsi obtenu atteindrait environ 5 francs le kilogr.

Procédé Netto. — Un procédé basé sur les mêmes principes, mais plus perfectionné, fonctionnait, il y a une dizaine d'années, à Newcastle (Angleterre), sous la direction du professeur Netto, de Berlin, qui tendait à monopoliser par la supériorité du métal obtenu et le prix de revient relativement peu élevé, la production de l'aluminium pour le marché du monde entier.

Fig. 4. — Préparation du sodium.

A Wallsend-on-Tyne, on fondait au four à réverbère 100 kilogrammes de cryolithe et 50 kilogrammes de chlorure de sodium. La fusion durait deux heures, après lesquelles le mélange fondu était introduit dans le convertisseur et on y ajoutait le sodium au moyen d'un plongeur circulaire en tôle, par quantités successives de 2,5 à 3 kilogrammes.

Le sodium décomposait la cryolithe en formant du fluorure et mettant l'aluminium en liberté.

Le point caractéristique du procédé réside dans le fait que le

métal se rassemble au fond du convertisseur, bien que sa densité soit inférieure à celle de la cryolithe. Ce fait provient de ce que, à la température du convertisseur, la cryolithe émet déjà une grande quantité de vapeurs de telle sorte qu'il se produit une masse fluide bouillonnante de poids spécifique suffisamment faible pour permettre la précipitation du métal.

La production d'un kilogramme d'aluminium exigeait 4 kilogrammes de sodium, obtenu par le procédé Netto, qui consiste à faire couler goutte à goutte de la soude caustique fondue sur une couche de coke incandescent garnissant le fond d'une cornue en acier coulé.

Il se forme du carbonate de sodium et du sodium en vapeurs que l'on condense dans une allonge.

La scorie était traitée pour régénération de cryolithe et de sulfate de soude en la chauffant avec du sulfate d'alumine.

La réaction est la suivante :

$$12\,NaFl + (SO^4)^3Al^2 = Al^2Fl^6,\ 6\ NaFl + 3\,SO^4Na^2$$

On séparait ensuite le sulfate de sodium par lixiviation.

Nous empruntons au journal *Industrie* la description pratique du procédé Netto, tel qu'il était mis en pratique aux usines de Wallsend, près Newcastle-on-Tyne (Angleterre).

La figure 5 représente une batterie de fours destinés à la préparation du métal en question.

Ils sont établis suivant une ligne continue et chacun d'eux occupe $2^m,40 \times 2^m,40$ sur une hauteur de $1^m,30$. Au centre se trouve une cornue de $0^m,90$ de hauteur et de $0^m,60$ de largeur, en fonte avec un tuyau de coulée à la partie antérieure. Une boîte supérieure cylindrique, luttée avec de la chaux éteinte, de manière à assurer l'étanchéité, sert au ramollissage et porte également un tube auquel est fixé le condenseur à sodium.

La cornue, préalablement chauffée, reçoit une charge de charbon à gaz qu'on porte au rouge clair ; puis on y introduit lentement, au moyen d'un système, une charge de soude caustique en fusion, préparée à cet effet dans un récipient en fonte chauffé par la chaleur perdue du four. La soude se répand à la surface du charbon en ignition et, au bout de quelques minutes, des

flots de vapeur s'échappent de la cornue et viennent brûler avec une belle flamme jaune à l'orifice du condenseur. Les ouvriers règlent l'écoulement en proportion de l'intensité de ces flammes; le sodium métallique coule en gouttes du condenseur dans des auges en fonte qui servent à le transporter rapidement dans des récipients étanches du même métal, d'où il est repris pour les emplois ultérieurs.

Chaque cornue produit environ 27 kilogr. de sodium par jour et exige une surveillance constante pour empêcher les obstruc-

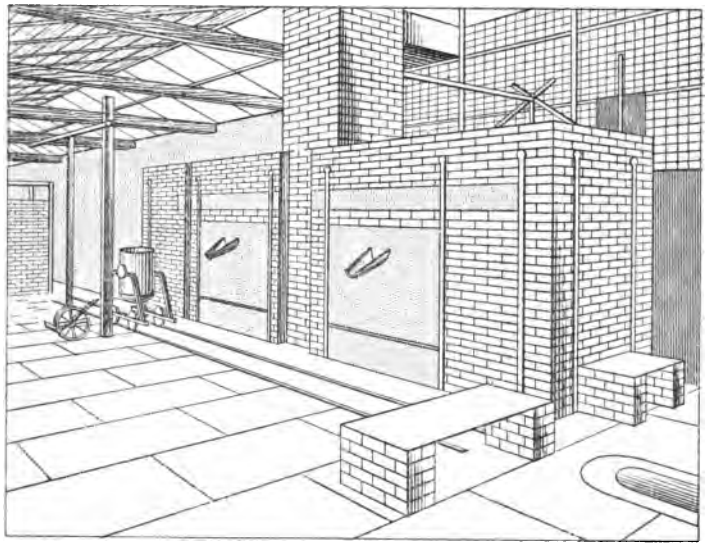


Fig. 5. — Fours pour la fusion de la cryolithe.

tions du condenseur, qu'on évite en forçant l'écoulement à l'aide d'un ringard en fer; on enlève de temps en temps le carbonate de soude résultant de la réaction dans la cornue.

La figure 5 représente les fours employés pour la fusion de la cryolithe. Ce sont des fours à réverbère que l'on charge par la partie supérieure avec un mélange de cryolithe et de sel marin: après fusion, on coule dans un convertisseur en fer monté sur un truc et qu'un système d'engrenages permet de renverser.

La figure 6 montre le travail d'introduction et de brassage du sodium dans la cryolithe en fusion. Aussitôt que le sodium arrive dans le convertisseur, deux ouvriers plongent dans la masse une

cuiller qu'ils remontent et descendent jusqu'à la fin de la réaction.

Il ne reste plus qu'à écouler le laitier et on recueille au fond du convertisseur un « bouton » d'aluminium.

Lorsqu'on veut obtenir un métal plus pur, on effectue l'opération dans des creusets en argile placés dans un four, qui permettent de régler plus facilement le travail, surtout pour le brassage. On commence par les chauffer, puis on y introduit un

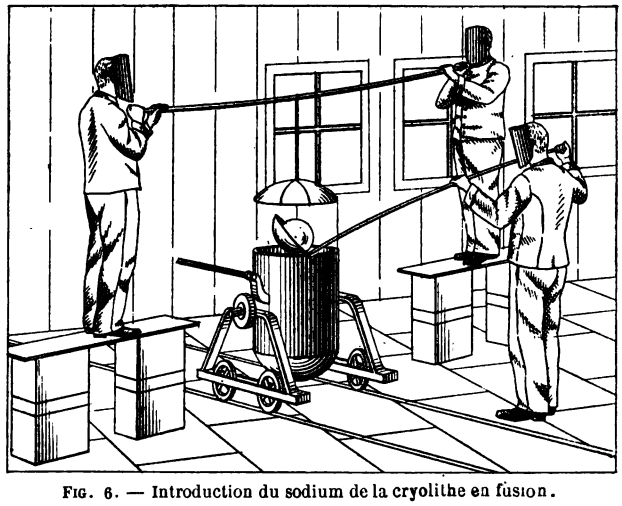


FIG. 6. — Introduction du sodium de la cryolithe en fusion.

bloc de sodium fixé à une tige de fer portant en outre, enfilé sur elle, un couvercle percé d'un trou.

Les produits obtenus contiennent de 90 à 99 0/0 d'aluminium pur.

Comme les laitiers retiennent toujours un peu de métal, on les refond au four à reverbère avec du cuivre, de manière à former un bronze d'aluminium.

Il resterait à parler des procédés plus récents qui ont été proposés pour lutter contre les méthodes électrométallurgiques. Mais comme cette lutte a été vaine, et bien que les procédés préconisés ne manquent pas d'intérêt, nous nous bornerons à citer la seule méthode de Peniakoff, essayée industriellement en Belgique.

Procédé Peniakoff.— Nous avons vu précédemment quel était

le moyen employé par Peniakoff pour obtenir, à l'aide de la bauxite, du sulfate d'aluminium pur.

En réduisant le sulfure d'aluminium par le plomb ou le fer, on obtenait l'aluminium :

$$Al^2S^3 + 3Fe = Al^2 + 3FeS.$$

Peniakoff prétendait aussi pouvoir traiter le sulfure fondu par grillage, en vertu de la réaction

$$Al^2S^3 + 6O = Al^2 + 3SO^2.$$

Après des essais peu concluants, le procédé Peniakoff a été abandonné pour ce qui concerne la réduction du sulfure d'aluminium, tandis que sa fabrication de l'alumine pure continue à fonctionner avec succès.

Somme toute, ces divers procédés sont des plus compliqués, soit par suite de l'élévation du prix de revient, soit par les difficultés inhérentes au maniement d'un corps aussi inflammable à l'air libre que le sodium et dont l'aluminium ne doit plus conserver la moindre trace, si on veut que ce métal ne décompose pas l'eau. Ils ont, en conséquence, dû être abandonnés et peuvent tout au plus être considérés comme des méthodes de laboratoire.

CHAPITRE V

Préparation de l'aluminium. — Procédés électrolytiques.

§ 1. — Généralités.

Les procédés de réduction électrolytique appliqués à la métallurgie en général sont basés sur la réduction des composés chimiques à fonctions acides et basiques, amenés à un état particulier de fluidité et rendus bons conducteurs de l'électricité. Ils s'appliquent déjà à l'extraction du cuivre, du chrôme, du nickel, de l'aluminium et même du sodium (procédé Castner); ainsi qu'à la fabrication du carbure de calcium pour l'acétylène, du carbure de silicium, etc.

L'idée première de chauffer par un courant électrique une résistance, mise en contact intime avec le mélange à réduire, se trouve développée dans *The philosophical transactions* (Londres 1815), à la suite d'une tentative d'après laquelle de la poudre de diamant avec des fils de fer fins, le tout enveloppé dans du talc, avait disparu après quelques minutes dans le circuit d'une batterie, en transformant le fil de fer en acier.

En 1849, Desprez travaillait d'après le même principe, comme l'anglais Mouckton en 1862, tous précurseurs des frères Cowles qui, en 1885, ainsi que nous le verrons plus loin, rendaient possible la préparation, à l'aide d'une méthode simple,

des alliages d'aluminium. Dans cette méthode, l'action de l'arc voltaïque serait d'abord électro-thermique puis et surtout électrolytique selon les uns, tandis que selon d'autres, comme l'auteur allemand W. Borchers, la décomposition de l'alumine dans le four électrique serait uniquement un effet de la chaleur produite par le courant dans la résistance.

L'électrolyse peut s'opérer de trois manières : par dissolution, fusion aqueuse ou fusion ignée.

Le premier de ces trois modes a été le plus employé jusqu'à ce jour, particulièrement dans l'affinage des métaux, comme le cuivre, le plomb, le nickel, et en galvanoplastie.

On ne connaît pas d'exemple d'électrolyse pratique d'aluminium en solution aqueuse.

Cependant Rhumbold (brevet allemand) prétend avoir pu précipiter de l'aluminium sur un autre métal à la cathode, une plaque d'aluminium formant l'anode, d'une solution de 50 parties d'alun dans 300 parties d'eau, mélangée avec 10 parties de chlorure d'aluminium et chauffée à 93°, 39 parties de cyanure de potassium étant ajoutées après refroidissement.

Mais, de même que dans plusieurs autres brevets pris à l'étranger (Thomes et Tilly, Corbelli, Jeanson, Haurd, Bertram, Braun, Senet, Walter, de Montgelas, Falk et Schaag, Burghardt et Twining, Nahnsen et Pfleger, Rietz et Hérold), on ne peut guère espérer précipiter de l'aluminium pur et Borchers estime que, dans l'état actuel de la technique, l'extraction de l'aluminium ne semble pouvoir être effectuée avec profit sous cette forme.

Il est à remarquer en effet que, dans la plupart de ces procédés, les cyanures, d'un maniement délicat, jouent un rôle assez important.

L'électrolyse par fusion ignée, au contraire, présente sur les autres modes électrolytiques de très grands avantages. Ils sont tirés des propriétés mêmes de l'agent électrique. Parmi ces propriétés, nous entendons surtout celle en vertu de laquelle l'électricité peut accumuler, dans un espace restreint, une grande somme d'énergie.

Elle s'utilise surtout dans le cas où l'élément qu'on veut recueillir, ne peut se former au sein de l'eau, à cause de sa grande affinité pour l'oxygène; ainsi l'aluminium, le magnésium et, en général, les métaux alcalins et alcalino-terreux.

C'est la seule dont nous nous occuperons ici.

ÉLECTROLYSE

Avant de résumer, comme l'a si bien fait Minet, les lois qui s'appliquent indirectement aux différentes méthodes employées, il convient de dire quelques mots de la terminologie électrolytique.

Électrolytes. — L'électrolyte est la substance qui est décomposée par le passage du courant.

Électrodes. — Le conducteur par lequel le courant pénètre dans l'électrolyte, se nomme électrode positive ou anode et le conducteur de sortie, électrode négative ou cathode.

Anions et cations. — Les constituants qui résultent de la désagrégation d'un électrolyte, peuvent être simples ou composés; ils prennent le nom d'ions et se portent, les uns au pôle positif (anions : éléments électro-négatifs), les autres au pôle négatif (cations : éléments électro-positifs).

Les éléments mis en liberté peuvent être recueillis à l'état de corps simples ou composés : solides, liquides ou gazeux ; ou bien ils se combinent à l'état naissant, soit avec les électrodes, soit avec d'autres éléments chimiques mélangés à l'électrolyte ou constituant l'électrolyte même.

Constantes électriques. — Ce sont les suivantes :

R, Résistance des liquides et résistance des solides, exprimées en ohms.

I, Intensité en ampères. — T, Temps en secondes.

D, Densité de l'électrolyse ; intensité par centimètre carré aux électrodes.

Q (CT), Quantité d'électricité.

E, Force électromotrice d'une source d'électricité ou différence de potentiel aux électrodes évaluée en *volts*.

Constantes chimiques. — Ces constantes sont les suivantes, à savoir :

Eq. Équivalent chimique des éléments exprimé en grammes.

eq. Équivalent électro-chimique des corps lorsqu'ils remplissent la fonction d'éléments électro-négatifs, exprimé en millligrammes, mis en liberté par conséquent au pôle positif par un coulomb.

Eq. Équivalent chimique de l'électricité, soit 96512 coulombs; quantité d'électricité qui est nécessaire pour mettre en liberté au pôle positif, un équivalent chimique des divers éléments, exprimé en grammes.

De par leur définition, ces symboles sont liés par l'expression :

$$(1) \qquad \mathrm{Eq} = \frac{Eq}{\mathrm{eq}}$$

Lois générales de l'Électrolyse. — Ces lois sont au nombre de trois :

1° *La loi de quantité* qui permet de déterminer la quantité d'ions mis en liberté, en fonction de la quantité d'électricité. Elle se vérifie assez rigoureusement en pratique, surtout lorsque l'élément électro-positif se dépose à l'état solide et ne subit aucune action secondaire.

Cette loi est comme la synthèse des lois de Faraday et de Becquerel. Les travaux de Weber, Mascart (1881), Kohlrausch (1884), lord Rayleigh et Sedgwich permettent d'en faire un énoncé rigoureux :

« Lorsqu'un électrolyte est traversé par une quantité d'élec-
« tricité égale à 96512 coulombs, la quantité des matières
« décomposées est représentée en valeur absolue par leurs
« poids moléculaires exprimés en grammes, avec cette condition
« que l'élément électro-négatif entre dans la formule chimique
« avec un seul équivalent. »

Exemple. — Si l'on fait passer un courant de force électromotrice suffisante à travers plusieurs électrolytes établis en tension, dont les formules chimiques sont :

Chlorure de sodium	$NaCl$
Bichlorure d'étain	$SnCl^2$
Sesquichlorure d'aluminium. .	Al^2Cl^6

et que la quantité d'électricité agissant sur chacun d'eux soit de 96512 coulombs, le poids des matières décomposées sera représenté par les formules électrolytiques.

Chlorure de sodium	NaCl
Bichlorure d'étain.	$Sn^{1/2}Cl$
Sesquichlorure d'aluminium.	$Al^{2/6}Cl$

On a dit plus haut que l'équivalent électro-chimique d'un élément représente en valeur absolue la quantité de cet élément mis en liberté au pôle positif par un coulomb et se calcule au moyen de la formule (1); les termes Eq et *Eq* étant remplacés par leur valeur.

Le tableau suivant donne la densité, la chaleur spécifique, les équivalents chimiques et électro-chimiques de tous les éléments que l'on est exposé à trouver associés sous une forme quelconque dans l'aluminium industriel ou commercial.

ÉLÉMENTS	DENSITÉ	CHALEUR SPÉCIFIQUE	ÉQUIVALENTS	
			CHIMIQUE Eq	ÉLECTROCHIMIQUE eq
				milligr.
Aluminium . . .	2,67	0,2143	13,75	0,140
Argent.	10,51	0,0570	107,93	1,118
Cadmium.	8,60	0,0567	56 »	0,530
Carbone	3,50	0,460	6 »	0,062
Chrome	7 »		26,2	0,271
Cuivre.	8,93	0,0952	31,75	0,329
Étain	7,29	0,0562	59 »	0,611
Fer	7,84	0,1138	28 »	0,290
Fluor			19 »	0,197
Glucinium	1,64	0,4079	6,94	0,073
Lithium	0,59	0,9408	7 »	0,073
Magnésium. . . .	1,74	0,2499	12 »	0,131
Nickel.	8,82	0,1092	29,5	0,306
Silicium	2,49	0,2020	14 »	0,145
Sodium	0,97	0,2934	23 »	0,239
Titane.	5,30		25 »	0,259
Tungstène	18,20	0,0334	92 »	0,955
Zinc.	7,19	0,0956	32,50	0,337

Poids des éléments mis en liberté au pôle positif. — Il sera facile de calculer le poids des éléments électro-négatifs mis en liberté pour une quantité donnée d'électricité.

On a, de par la définition même de la loi de quantité et de l'équivalent électro-chimique $P = (eq \times It)$.

Poids des éléments mis en liberté au pôle négatif. — Pour calculer le poids des éléments électro-positifs en fonction de la quantité d'électricité, il faut affecter le produit précédent $(eq \times It)$ du coefficient avec lequel ces éléments entrent dans la formule électrolytique.

C'est ainsi qu'on aura pour exprimer la quantité d'étain résultant de l'électrolyse du chlorure de ces métaux :

+ au pôle positif. Chlore . . .	$P = eq \times It$
— au pôle négatif. Étain. . . .	$P = (eq \times It)\ 1/2$
Aluminium. . . .	$P = (eq \times It)\ 2/6$

Ainsi, l'équivalent électro-chimique de l'étain est de 0,611 milligrammes ; celui de l'aluminium de 0,140 milligrammes. Ce serait effectivement la quantité de ces métaux qui se déposerait au pôle positif par le passage d'un coulomb, et ils joueraient alors le rôle d'éléments électro-négatifs, cas très rare, du reste.

Ils sont mis en liberté plutôt à l'état d'éléments électro-positifs, c'est-à-dire qu'ils se déposent au pôle négatif, et la quantité mise en liberté par le passage d'un coulomb (1 ampère-seconde) pour l'étain, est de 0,3055 milligrammes, et pour l'aluminium de 0,933 milligrammes.

En pratique, on adopte comme unité de quantité d'électricité, l'ampère-heure, soit 3600 coulombs.

La quantité d'aluminium déposée par ampère-heure serait de 336 milligrammes.

Il faut dire que lorsqu'on produit l'aluminium au moyen de l'électrolyse par fusion, on obtient rarement ce chiffre, mais cela n'infirme en rien la loi de quantité, car les causes de perte, dans ce cas, sont nombreuses, et lorsqu'on en élimine un certain nombre, on s'approche de très près du chiffre théorique (A. Minet).

2° *La loi de force électromotrice*, qui donne la valeur de la

force électromotrice minimum de décomposition en fonction de la chaleur de formation de l'électrolyte; elle est moins rigoureuse que la précédente.

De nombreux travaux ont démontré que la force électromotrice de décomposition n'est pas seulement fonction de la chaleur de formation de l'électrolyte, mais qu'un grand nombre d'autres quantités influent sur sa valeur : la dilution de l'électrolyte, la température, la dimension des électrodes, ou mieux l'intensité de courant aux électrodes.

On formulera d'abord la loi élémentaire de la force électromotrice, qui est très utile en pratique, sauf à y revenir plus tard et à déterminer, pour chaque cas en particulier et suivant les dispositions de l'expérience, le coefficient dont on devra affecter le premier chiffre obtenu.

3° *La loi de Sprague*, qui est comme un corollaire à la deuxième loi s'énonce comme suit :

Sont mises en liberté aux électrodes les substances qui, en devenant libres absorbent l'énergie intrinsèque la plus faible.

C'est une traduction pure et simple de la loi du *travail minimum* énoncée par M. Berthelot.

Principe des procédés électrolytiques. — En résumé, dans la pratique, et généralement pour la fabrication de l'aluminium, le traitement électrolytique repose sur les bases suivantes :

1° Dissoudre l'oxyde d'alumine dans des sels haloïdes fondus (chlorure et fluorures) des métaux alcalins, des métaux alcalino-terreux et de l'aluminium pour servir d'électrolyte;

2° Maintenir la teneur en aluminium de la masse fondue pendant l'électrolyse par des additions d'oxyde d'aluminium;

3° Employer comme anodes des blocs de charbon formés de plaques réunies en un faisceau, comme cathodes des corps métalliques refroidissables, qui sont introduits par le fond des vases de fusion;

4° Opérer la fusion dans des cylindres en fer, plats, ouverts supérieurement, et revêtus intérieurement de combinaisons d'aluminium pures difficilement fusibles;

5° Amener la fusion par la chaleur résultant d'un courant de 25000 ampères environ par mètre carré de surface de cathode

ou de section du bain et éviter une température trop élevée tant au point de vue économique que pour échapper à la réoxydation du métal à l'anode par dissolution de ce dernier dans l'électrolyte et éviter les pertes de courant et de force par suite de la possibilité de la séparation et de la volatilisation de métaux alcalins à de plus hautes températures.

En tout état de cause, l'aluminium en liberté se rassemble au fond du vase de fusion ; cela tient à ce que les poids spécifiques respectifs du métal fondu et solidifié présentent peu d'écart; contrairement à ce qui se passe pour la cryolithe et les solutions d'alumine dans les fluorures doubles en fusion.

D'après Borchers, ces chiffres seraient les suivants :

	POIDS SPÉCIFIQUES	
	Fondu	Solidifié
Aluminium commercial	2,54	2,66
Cryolithe du Groenland commerciale.	2,08	2,92
Cryolithe saturée d'alumine	2,35	2,90
Cryolithe avec fluorure d'aluminium.	1,97	2,96
Le mélange salin semblable saturé d'alumine.	2,14	2,98

§ 2. — Premiers travaux d'électrolyse.

En ce qui concerne spécialement la fabrication de l'aluminium par ces procédés électrolytiques, ce fut Bunsen qui, utilisant l'appareil construit pour l'extraction du magnésium du chlorure fondu, décomposa le chlorure d'aluminium (*Annales de Poggendorff*, 1854).

H. Sainte-Claire Deville qui, quelques semaines plus tard, présentait à l'Académie des Sciences son travail sur les métaux et spécialement sur l'aluminium, rendait hommage à ces travaux de Bunsen. Les élégants procédés de ce dernier lui semblaient ouvrir une voie pouvant, dans les directions les plus variées, conduire à d'intéressants résultats ; mais à condition d'agir, non sur le chlorure peu fusible, mais sur le chlorure double d'aluminium et de sodium qui fond à 185° et qui, contrairement au chlorure simple, est encore fixe à une température assez

élevée. En même temps, le savant français protestait contre l'emploi de cathodes en charbon et, étant donnée, d'autre part, la contre-indication des creusets réfractaires en argile et en graphite à cause des silicates, en porcelaine à cause de la fragilité et du prix, en métal à cause de l'attaque par la masse fondue, concluait que la préparation de l'aluminium pur par ces méthodes était impossible. De plus, dans des travaux consécutifs, pour recouvrir d'un dépôt d'aluminium des objets en métal, fer, cuivre, etc., il recommandait l'emploi d'anodes en aluminium ou formées d'un mélange comprimé d'oxyde l'aluminium et de charbon; et d'une manière générale : l'emploi d'anodes solubles même dans l'électrolyse de substances fondues et le remplacement de l'aluminium pendant l'électrolyse de combinaisons fondues de ce métal par de l'oxyde d'aluminium.

Un brevet anglais (Le Châtelier, 1861) recommandait aussi une cellule poreuse pour recevoir les anodes en oxyde et en charbon. Mais si ces cellules poreuses ne pouvaient s'appliquer à la préparation en grand, les anodes d'une faible conductibilité pour le courant présentaient, en outre, l'inconvénient de se désagréger et il en résultait que, dans la pratique, le procédé ne pouvait donner de rendement sérieux.

Il n'en résulte pas moins que les travaux de Bunsen et Deville ont été le point de départ des conquêtes réalisées dans ces derniers temps seulement, malgré les travaux de Gaudin, Faure, Graetzel, Boguski-Zoziarski, Farmer, Groussilliers, Grabau, Henderson, Richards, Rogers, Winckled, Feldmann, etc. Ce n'est, en effet, que depuis une dizaine d'années que l'on tente enfin de produire la chaleur nécessaire pour la fusion des combinaisons d'aluminium et l'électrolyse à l'aide de l'énergie électrique à l'intérieur du vase de fusion lui-même.

C'est C.-W. Siemens qui a donné l'idée d'employer l'arc voltaïque pour l'extraction de l'aluminium; mais des auteurs, comme Borchers, estiment encore l'action trop énergique et le prix de revient trop élevé pour la fabrication industrielle des métaux en général. Cependant il est certain que ce mode de production des métaux est actuellement appliqué pour la fabrication du manganèse et des ferro-alliages (ferro-silicium, ferro-chrome, ferro-tungstène, etc.). Comme d'après Siemens le four de fusion électrique ressemble, relativement à l'économie du

combustible, au four à gaz avec régénérateur, il semble, du reste, qu'avec des dynamos actionnées par des forces motrices naturelles, l'économie puisse être réellement suffisante pour amener la transformation de l'industrie métallurgique dans les régions montagneuses.

Le savant professeur de métallurgie, s'appuyant sur ce que l'énergie électrique transformée en chaleur croît à raison du carré de l'intensité d'un courant, recommande comme électrolyte les conducteurs liquides à faible conductibilité par rapport aux conducteurs simples. De cette façon, des électrodes même de faible section immergées dans les premières, apportent une quantité de courant assez grande pour que, même les substances difficilement fusibles, soient fondues par la chaleur produite et maintenue à l'état liquide. D'où : chauffage très uniforme de l'électrolyte au lieu du chauffage limité à un étroit espace au moyen de l'arc voltaïque.

C'est l'application de ce principe de chauffage qui, seul, a rendu possible l'extraction industrielle de l'aluminium par voie électrolytique, car avec elle pouvait être résolue la question relative à la matière des vases de fusion, et aujourd'hui toutes les fabriques d'aluminium travaillent avec des électrolytes maintenus en fusion au moyen de l'électricité. Bien que Borchers prétende que le chimiste français Héroult seul a exposé clairement ce mode de travail dans ses brevets, dans ceux pris en Allemagne principalement, il est certain que la découverte pratique doit être attribuée à Minet, à qui revient l'honneur d'avoir ouvert la voie à tous les autres expérimentateurs et d'avoir vraiment réalisé la réduction d'un oxyde considéré précédemment comme irréductible.

L'alumine est additionnée de cryolithe naturelle du Groenland, qui peut être préparée artificiellement.

Le courant produit par les dynamos, actionnées par de puissantes turbines, mises en mouvement par des dérivations de chutes d'eau agit à la fois comme source de chaleur et d'énergie électrique.

La méthode généralement employée est, à peu de chose près, la même dans les divers pays où se fait l'électrolyse.

Elle comporte :

1° Le choix du minerai de bauxite rouge ou blanche du Midi de la France, de la Géorgie, Arkansas (États-Unis);

2° La préparation de l'alumine isolée de ce minerai;

3° Le choix ou la préparation de cryolithe pure;

4° La constitution des fours électriques, charbons, cuves, débarrassés autant que possible de fer, de silicium, etc.;

5° L'action du courant sur le mélange d'alumine et de cryolithe employée comme fondant jusqu'à ce que l'aluminium soit recueilli au pôle négatif;

6° L'affinage de l'aluminium et l'ensemble des opérations de nature à augmenter les qualités mécaniques de résistance et d'allongement du métal et des alliages.

En réalité, et jusqu'à ce jour, l'aluminium se fabrique exclusivement par la réduction électrique de l'alumine pure extraite de la bauxite et additionnée de fondants chlorurés ou fluorés.

Or, la quantité d'énergie électrique pratiquement nécessaire pour la réduction d'un kilogramme d'aluminium étant comprise entre 22 et 30 kilowatts-heures (30 à 40 chevaux-heures), il en résulte que la dépense correspondante ne peut être inférieure à 1 fr. 50 c. si l'on emploie l'énergie électrique produite par l'intervention de la vapeur.

Avec les puissances naturelles hydrauliques permettant de produire le kilowatt-heure à un prix variable entre cinq et neuf dixièmes de centime, la dépense est à peu près dix fois moindre.

Du reste, l'application des chutes à la production de l'énergie électrique transforme actuellement les conditions essentielles d'un grand nombre d'industries et elle a permis la création de nouvelles fabrications qui seraient irréalisables avec le seul emploi de l'énergie provenant de la combustion du charbon.

Le grand mouvement d'utilisation des chutes a vraiment commencé en 1889, et c'est à cette époque qu'utilisant les conseils de M. Bergès, l'inventeur de la houille blanche, on se mit résolument à aménager les torrents pour la production de l'énergie.

Jusqu'alors, on n'avait guère tiré parti que des chutes de faible hauteur et de grand débit, comportant un matériel lourd et de faible vitesse et nécessitant par suite, pour la production de l'énergie électrique la mise en œuvre de masses de cuivre considérables et onéreuses.

Avec les hautes chutes obtenues par la captation des torrents persistants, on est arrivé à constituer des puissances industrielles énormes, comportant des turbines légères et rapides, qui attaquent, par accouplement direct et sans intermédiaire mécanique, des dynamos dans lesquelles les masses de cuivre sont aussi réduites que possible.

Les avantages étaient si évidents que l'utilisation des hautes chutes se répandit avec un élan remarquable sous l'impulsion que lui donnèrent des ingénieurs et des industriels parmi lesquels il convient de citer MM. Bergès, Hillairet, Chevrant, Thorand, Corbin, Gin et bien d'autres encore dont l'initiative et la ténacité ont doté notre pays d'une source inépuisable de profits par l'asservissement et la mise en valeur de ces puissances latentes et jusqu'alors inutilisées.

Dans la région lyonnaise seulement, l'énergie utilisée est passée de 72000 chevaux en 1890 à 100000 en 1900. Il resterait encore d'importantes réserves dans les Alpes (sur le cours du Rhône, de l'Arc, de l'Ain), dans le Jura (en particulier aux Rousses), dans le massif central, les Vosges et surtout dans la région des gaves des Pyrénées.

Un grand nombre de chutes sont en voie d'aménagement ou à l'étude (le Drac, haut Rhône, Orlu, lac d'Oo, Allier, haut Cher, etc.), et l'on peut prévoir que dans quelques années la totalité des forces hydrauliques captées ne sera pas inférieure à 300000 chevaux-vapeur. (Voir le tableau de la page 168.)

§ 3. — Méthodes usuelles.

Premières méthodes électrolytiques.

Procédé Minet. — Après plusieurs années de recherches, le procédé Minet fut appliqué industriellement à Paris d'abord, en 1887, puis à Creil (1888), où l'inventeur disposait d'une force motrice à vapeur de 30 chevaux seulement. Enfin, en 1891, le procédé Minet fut transporté à Saint-Michel-de-Maurienne avec une puissance hydraulique de 500 chevaux (1).

(1) D'après M. Ditte, le bain fondait bien à 675°, mais ne commençait à émettre des vapeurs que vers 105°. Il est assez fluide à partir de 500° pour que l'électrolyse s'opère d'une façon régulière, et assez peu volatil pour ne perdre, en vingt-quatre heures, que cinq centièmes de son poids.

M. Minet essaya successivement les électrolytes suivants :

1° Chlorure double d'aluminium et de sodium, 40 parties; chlorure de sodium, 60 parties;

2° Fluorure double d'aluminium et de sodium, 40 à 25 parties; chlorure de sodium, 60 à 75 parties.

L'électrolyte à base de chlorure d'aluminium s'appauvrissant rapidement, par suite de la volatilisation abondante de ce sel, M. Minet adopta le bain à base de fluorure d'aluminium qui donnait de meilleurs résultats.

Ce bain répondait sensiblement à la formule :

$$12\,NaCl + Al^2Fl^6, 6\,NaFl.$$

Ses propriétés caractéristiques étaient les suivantes :

Point de fusion.	675°
Température de vaporisation	1056°
Densité à 830° (adoptée pour l'électrolyse). .	1,76
Coefficient de dilatation à l'état liquide . . .	$\alpha = 0,00005$
Résistance électrique à 870°	$\rho = 0,32$

Comme l'aluminium fond à 625° et que sa densité à la température de l'électrolyse est supérieure à celle du bain, celui-ci remplissait bien toutes les conditions requises pour une bonne fabrication.

M. Minet admet qu'au passage du courant le fluorure d'aluminium (1) se décompose le premier; l'aluminium se porte à la cathode et tombe au fond du bain, pendant que le fluor se dégage à l'anode.

Si l'on alimente convenablement le bain avec de l'alumine, on reconstitue le fluorure d'aluminium par suite de la réaction régénératrice

$$Al^2O^3 + Fl^6 + 3C = Al^2Fl^6 + 3CO,$$

et c'est en fin de compte l'oxygène de l'alumine qui se dégage et forme de l'oxyde de carbone aux dépens de l'anode.

---

(1) Composé qui, de tous les sels en présence dans le bain fondu, est celui dont la chaleur de formation est la plus faible.

Le fluor mis en liberté n'étant pas absorbé en totalité, il est nécessaire, pour maintenir constante la composition du bain, d'ajouter de temps à autre une petite quantité de fluorure d'aluminium.

Mais, ce n'était pas tout que de trouver une électrolyte convenable, il fallait encore imaginer un four électrique de nature telle qu'il ne pût être attaqué par les sels en fusion et qui pût résister à la température du bain.

M. Minet eut l'idée ingénieuse de mettre sa cuve en dérivation R, calculée de façon à n'envoyer dans la cuve que les 5/100 du courant total. Par cet artifice, les parois intérieures de la cuve se recouvraient d'une couche d'aluminium infiniment mince, mais suffisante pour protéger la cuve contre les actions corrosives des matières en fusion. Nous reproduisons *(fig. 7 et 8)* les coupes du premier four de Minet établi d'abord avec une seule anode, puis deux enveloppant la cathode.

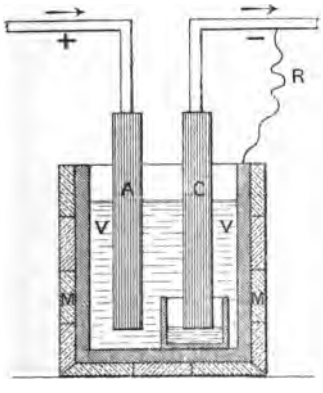


FIG. 7.

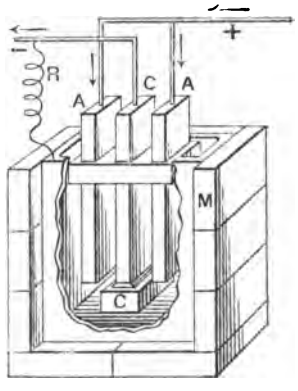


FIG. 8.

Deuxième type de four Minet. — Dans son premier four, Minet utilisait l'intervention d'un foyer extérieur pour chauffer le bain, il en résultait que les cuves étaient rapidement hors d'usage, car elles avaient à subir, d'une part, l'action du foyer et, d'autre part, celle de l'aluminium déposé sur la cuve et formant un alliage plus fusible que la fonte.

Dans son deuxième type de four, le bain était maintenu en fusion par la seule action du courant. La cuve était métallique et recouverte intérieurement d'un garnissage en charbon agglo-

méré. C'est ainsi que Minet réalise le principe de la cuve cathode, adopté également par Héroult et Hall.

L'anode était constituée par un ou plusieurs blocs de charbon aggloméré, disposés au centre de la cuve. L'aluminium produit s'accumulait au fond de la cuve et en était extrait par un trou de coulée *t*.

La figure 9 donne une idée de la disposition adoptée.

La production d'aluminium correspond à peu près à 30 grammes par cheval-heure ; le métal obtenu contenait 2 à 3 0/0 d'impuretés, constituées en grande partie par du silicium ; la proportion de fer ne dépassait pas 8/1000. Si les produits obtenus contenaient plus d'impuretés que l'aluminium actuel (1), cela tient à ce que les matières premières, surtout les anodes et les garnissages en charbon, étaient notablement moins purs que les matériaux similaires actuellement obtenus.

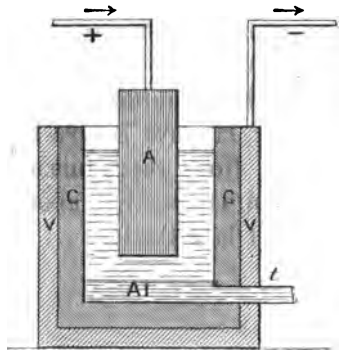


FIG. 9.

Ancien procédé Cowles. — Vers cette époque, était exploitée, en Amérique et en Angleterre, une autre méthode qui consistait à dissocier, sous l'influence d'une très haute température, l'alumine mise en présence du carbone et d'un métal ayant une très forte affinité avec l'aluminium, le cuivre, par exemple.

Un courant électrique de puissance convenable, sous une tension de 75 à 80 volts et agissant comme source de chaleur intense sous forme continue ou alternative, était amené dans la masse par deux électrodes de charbon placées au regard l'une de l'autre.

En 1885, à Cleveland (Ohio) l'installation du procédé Cowles comportait un moteur à vapeur de 125 chevaux qui actionnait une dynamo engendrant un courant de 1500 ampères à 50 volts.

(1) Peut-être aussi parce que l'inventeur du procédé recherchait plutôt le ferro-aluminium industriel.

Les brevets ont été exploités en Angleterre, en 1888, à l'usine Milton (Luffordshire). La force motrice était constituée par une machine horizontale de 600 chevaux et l'installation électrique comprenait une grande dynamo, type Crampton, à courant continu de 300 kilowatts.

La fonderie se composait de douze fourneaux Cowles formant deux batteries séparées, l'une pour la fabrication du bronze d'aluminium, l'autre pour celle du ferro-aluminium; le courant était amené dans la fonderie par deux conducteurs aériens formés par des barres de cuivre, sur lesquelles circule un contact roulant; à chacun d'eux est attaché un élément de transmission qui se réunit, l'un à l'électrode positive, l'autre à l'électrode négative; cette liaison mobile est formée par un câble composé de vingt-trois fils de cuivre ayant 7 millimètres de diamètre.

Ce procédé ne donnait pas le métal pur, mais des alliages cupro-aluminium laiton avec 2 à 10 0/0 d'aluminium, ou des ferro-aluminium.

Méthodes électrolytiques nouvelles.

Parmi ces méthodes, les principales sont celles de Héroult et Hall, inventées pour ainsi dire simultanément en France et aux États-Unis, et ne paraissant guère différer que sur des points de détail, le principe général restant identique.

Procédé Héroult. — Le procédé Héroult, ingénieur français, dont les brevets applicables à d'autres métaux que l'aluminium sont exploités en France et en Suisse, réalisait d'abord l'électrolyse de l'alumine dissoute dans la cryolithe en fusion, pour obtenir l'aluminium pur. (Brevet du 23 avril 1886.) Par une addition du 15 avril 1887, l'inventeur revendiquait l'électrolyse de l'aluminium fondu par l'action du courant lui-même.

Dans le cas de fabrication d'alliages, le fond du bain, c'est-à-dire la cathode, est constitué par le métal dont on veut obtenir l'alliage.

L'usine de Froges (Isère), dans laquelle ont été exploités,

tout d'abord pour la France, les procédés Héroult, dispose d'une force hydraulique de 800 chevaux (1891 à 1892) et possède deux turbines de 300 chevaux chacune, plus une petite de 100 chevaux. Les grandes turbines peuvent actionner quatre dynamos produisant chacune 6000 ampères et 15 volts : machines à faible tension et à courant continu. La petite turbine de 100 chevaux actionne une excitatrice de 500 ampères et 65 volts qui concourt à l'éclairage de l'usine; cette même turbine met également en mouvement toutes les machines-outils de l'usine : forges, tours, cisailles, raboteuses, et notamment le ventilateur de la fonderie, qui possède un cubilot et huit fours à creuset.

L'appareil primitivement utilisé pour la fabrication de l'aluminium (journaux techniques publiés en 1890) se composerait, sous réserve de certains secrets de fabrication, d'un creuset en tôle, garni intérieurement de charbon et isolé sur des supports. Ce creuset est percé dans le fond, pour laisser passer une des électrodes qui est isolée électriquement du reste de la marmite.

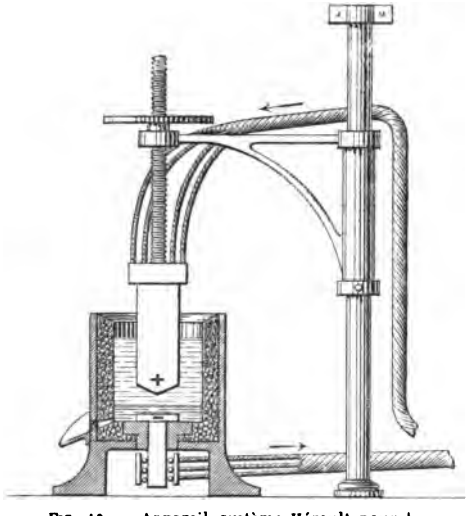


FIG. 10. — Appareil, système Héroult pour la fabrication de l'aluminium pur.

L'autre électrode est suspendue au-dessus du creuset par une potence munie d'une vis qui permet de l'élever ou de l'abaisser à volonté. Cette électrode supérieure, qui est la positive, est constituée en charbon. L'électrode inférieure et négative est constituée par un métal quelconque.

On amorce le creuset en y versant une certaine quantité de cryolithe. Le courant passe aussitôt et l'opération continue sans interruption, pourvu qu'on ait le soin d'entretenir constamment le bain en y ajoutant de l'alumine que le courant électrique décompose. Le métal se dépose au fond du creuset, d'où on

l'extrait toutes les vingt-quatre heures par un trou de coulée et l'oxygène se combine avec le carbone du pôle positif.

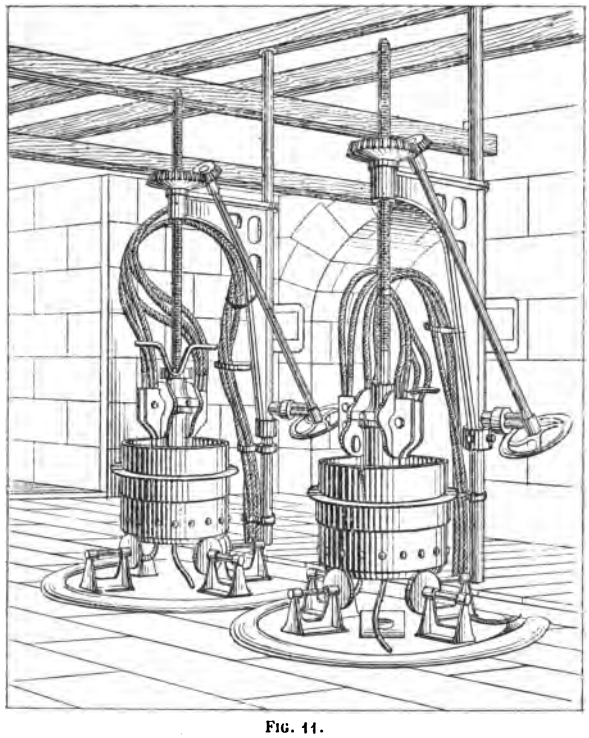


FIG. 11.

Alliages. — L'appareil qui servait à la préparation directe des alliages d'aluminium était constitué comme l'indique la figure ci-dessous.

Les principaux alliages préparés étaient le bronze d'aluminium et le ferro-aluminium. Le courant, pour passer de l'électrode C au fer ou au cuivre qui est en F, est obligé de traverser la couche d'alumine. Celle-ci offrant une très grande résistance au passage du courant, il en résulte une élévation de température très grande, sous l'influence de laquelle l'alumine fond en

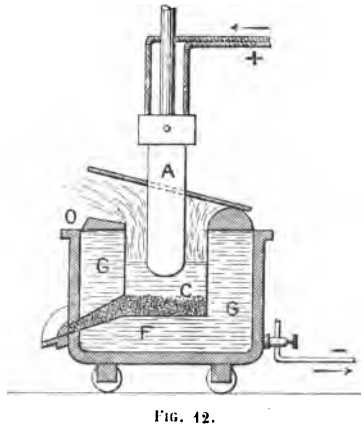


FIG. 12.

un liquide parfaitement fluide, constituant ainsi une électrolyse simple que le courant dédouble en ses éléments ; l'aluminium se porte sur le fer ou le cuivre qui est l'électrode négative, et l'oxygène se dégage au contact de l'anode C en formant de l'oxyde de carbone qui sort en brûlant par l'ouverture O. La température dégagée est telle que toute autre substance que le charbon fondrait rapidement. On charge à intervalles réguliers les proportions convenables du métal à allier et d'alumine, Lorsque le creuset est plein, on coule le métal en enlevant le tampon de fermeture.

Usine de Neuhausen (Suisse). — L'usine de Neuhausen, la première en date en Europe, exploite par la force motrice de la chute du Rhin, près Schaffhouse, le procédé français Héroult quelque peu modifié par l'allemand Kiliani et traite l'alumine provenant des fabriques silésiennes alimentées par les bauxites du Var.

Elle semble s'être laissé distancer, sinon sous le rapport de la quantité, au moins sous le rapport de la qualité de la production, par les usines françaises et américaines, si l'on en juge par les importants achats faits en France, achats se chiffrant par 10, 20, 40 et 50000 kilogrammes à la fois, affirme-t-on, au titre consenti de 985 millièmes, alors que notre industrie pouvait livrer dans de bien meilleures conditions.

Cette usine marche au capital de 10 millions environ, de provenance allemande généralement ; elle livre d'importantes commandes à l'étranger, destinées en grande partie, dit-on, aux armées allemande, belge, suisse, roumaine, chilienne.

Son exposition que nous avons visitée à Genève et dont les spécimens sont envoyés dans toute l'Europe, n'indique pas des progrès supérieurs à ceux réalisés en France; la confection est moins soignée, les formes moins élégantes, le rivetage moins perfectionné, les anses moins solides et sans bandelettes isolantes contre la chaleur due à l'excessive conductibilité du métal.

Actionnée par 20 mètres cubes d'eau à la seconde et, la chute ayant 20 mètres de hauteur, on y dispose donc d'une puissance motrice nette de 4 à 5000 chevaux.

Les turbines horizontales ont été remplacées par des turbines

verticales, système Jonval, de 600 chevaux, actionnant les grandes dynamos Brown et une de 300 actionnant une dynamo excitatrice de 300 ampères et 65 volts à la vitesse de 300 tours (1).

Au début l'usine ne produisait que des alliages comme cela avait lieu avec le procédé Cowles dont se rapproche la méthode Héroult-Kiliani tout en étant indépendante et distincte comme l'a déclaré un jugement de la cour de Berlin.

Dans le procédé Héroult, modifié à Neuhausen, M. Kiliani a supprimé l'emploi de cuivre à la cathode pour amorcer le courant avant la décomposition de l'alumine mélangée à la cryolithe et l'a simplement remplacé par la cryolithe qui fond facilement et donne de la fluidité au bain d'Al^2O^3.

Neuhausen aujourd'hui combine les deux procédés Héroult et Kiliani en un système mixte empruntant à chacun les dispositifs les plus avantageux dans la pratique.

Pour un kilogramme d'aluminium, on dépense 30 chevaux-heure et le rendement est supérieur à celui du procédé Cowles.

D'après les publications techniques, la composition de l'aluminium en 1893 était la suivante :

99,2 à 99,6	d'aluminium	avec 0,11 à 0,34 de fer.
92,8 à 99,6	—	avec 0,94 à 3,82 et 1,37 à 3,34 de fer.
99,9	—	avec 0,06 de sil. et 0,04 de fer.

Mais nous croyons pouvoir affirmer que ces chiffres devaient résulter d'une méthode analytique encore imparfaite dans laquelle, par exemple, on comptait comme aluminium l'alumine de réoxydation après une séparation incomplète de l'oxyde de fer de l'alumine, des pertes de silicium à l'état d'hydrogène silicé et un dosage par différence, ne tenant pas compte des autres métaux, du carbone, du sodium et autres impuretés.

Quoi qu'il en soit, si on veut obtenir un produit aussi pur que possible, il faut surveiller avec le plus grand soin les opérations de coulée, pour éviter la réoxydation des surfaces à l'état

(1) Borchers admet, sous le rapport de la différence de potentiel dans le bain, 9 à 10 volts et 25000 ampères environ par mètre carré de surface de cathode, ce qui correspondrait à 2/3 de kilogramme de métal au plus par 24 chevaux-heure électriques.

de fusion et à l'action des poussières siliceuses ou ferrugineuses; de même pour le laminage, le décapage et les recuits de nature à diminuer la résistance du métal; ceci d'autant plus, que ce degré de pureté ne sera jamais trop élevé, par exemple, pour la confection des ustensiles culinaires ou le matériel de campement de l'armée, ainsi que pour les objets d'équipement.

En ce qui concerne les constructions mécaniques, la traction, la navigation fluviale, il faut surtout rechercher l'homogénéité combinée avec la pureté, si l'on veut éviter des actions galvaniques ou électro-chimiques des alliages avec un métal; surtout dans les divers services des ministères de la Marine et des Colonies où il faut compter avec le contact de l'eau de mer, les embruns, etc.

Aucune nouvelle usine d'aluminium n'a été créée en France depuis le mois de juin 1895 et la première en date, Froges, a été transformée en vue de la fabrication du carbure de calcium, exporté jusque dans l'Amérique du Sud pour l'éclairage à l'acétylène. Ce composé semblant vouloir conserver la vogue du début malgré les accidents récents provenant d'un manque de régularisation dans le dégagement du gaz et les précautions rigoureuses à prendre pour sa conservation en tubes métalliques, à cause de ses propriétés endothermiques, il est peu probable que cette usine soit jamais réinstallée pour la production de l'aluminium (1).

Par contre, celle de la Praz, d'abord succursale de la précédente, est en plein développement et va arriver à une production annuelle de 1000 tonnes et plus lorsque la force motrice sera portée à 13000 chevaux selon le projet en voie d'exécution. Les dynamos sont actionnées par des turbines mises en mouvement par une dérivation de l'Arc.

Aucun danger n'est à craindre pour les ouvriers malgré les étincelles qui se dégagent sur les balais métalliques des dynamos ainsi qu'au contact des électrodes et des cuves dans lesquelles se fait la réduction de l'alumine mélangée à la

(1) Disposant d'une chute de 600 chevaux, elle vient, en effet, d'être récemment aménagée pour la fabrication d'aciers chromés ou ferro-chrome, avec du minerai de la Nouvelle-Calédonie, la Société préférant centraliser à l'usine de la Praz, mieux desservie, la production de l'aluminium, qui atteint déjà *1500* tonnes par an.

cryolithe. L'alumine de provenance française et fabriquée à Gardanne avec les minerais de bauxite du Var, est presque chimiquement pure et le rendement du métal est actuellement de près de 3 tonnes par jour correspondant au traitement de 7 tonnes 1/2 d'alumine.

Le métal est coulé dans des lingotières métalliques et emmaganisé en saumons de 4 à 5 kilogrammes serrés et empilés les uns sur les autres selon le degré de pureté, constaté dans un laboratoire spécial faisant partie de l'usine.

Nous donnons ci-contre la description des premiers creusets employés pour la fabrication du métal couramment obtenu depuis quelque temps au titre de 990 à 995 millièmes, bien supérieur à celui de provenance étrangère.

Il est vrai que d'importants progrès ont été réalisés dans toutes les branches de la fabrication depuis la matière première jusqu'à la coulée en passant par les électrodes, cuves, etc.

Procédé Hall. — Ce procédé implique l'électrolyse directe du sesquioxyde d'aluminium, dissous dans un bain fondu de fluorures doubles d'aluminium et de lithium, calcium, potassium et sodium, principalement le florure double de calcium et d'aluminium provenant de 234 parties de spath fluor, 421 de cryolithe, 845 de fluorure d'aluminium et 3 à 4 0/0 de chlorure de calcium sur l'ensemble. Un pied cubique de dissolvant suffit pour une production d'une livre d'aluminium métallique par heure (16 kilogrammes par mètre cube), le bain étant capable de dissoudre un tiers de son poids d'aluminium.

L'énergie électrique nécessaire est de 3730 watts par heure pour la décomposition de l'alumine, plus un courant pour maintenir le bain à la température de fusion. Les fluorures ne sont pas altérés, de sorte que l'opération est continue.

Le bain peut être constitué, soit par un mélange de spath fluor et de cryolithe, soit par des fluorures artificiels. Le mélange peut être fondu dans un récipient, séparé au moment de la mise en route ou dans le bain par le contact même. L'alumine est ajoutée à de fréquents intervalles pour éviter de trop grandes variations de la résistance, et l'aluminium, à mesure qu'il est produit, est puisé au moyen d'un siphon au-dessus de la couche de fluorure.

L'oxygène de l'alumine est libéré à l'anode charbon qui, à la température du bain (980° centigrades) se trouve transformée en acide carbonique qui s'échappe. Ces anodes sont usées à peu près proportionnellement à la production d'aluminium. La différence de potentiel théoriquement nécessaire pour la séparation des constituants de l'alumine est d'environ 2,8 volts; mais une plus grande différence est rendue nécessaire par la résistance du bain. Les creusets employés sont en fer avec revêtement de charbon. Ce revêtement peut toujours être négligé si l'on ne tient pas à recueillir un métal très pur.

Les principales impuretés mêlées à l'aluminium ainsi produit sont la silice et le fer, provenant tant de l'alumine que des anodes en charbon.

L'aluminium peut être obtenu avec 93,75 0/0 de métal pur (1).

Les bains électrolytiques sont réunis en séries; toutes les connexions en cuivre sont nécessairement très lourdes à cause des courants puissants employés.

L'énergie électrique est engendrée aux usines de la Compagnie des chutes du Niagara et transmise sans transformateurs, à une distance d'environ 800 mètres, par des câbles en cuivre de 31 millimètres de diamètre; la perte dans la transmission est d'environ 1/2 0/0.

L'alumine résulte de la décomposition par la chaleur du sulfate obtenu par le traitement à l'acide sulfurique de la terre alumineuse (coquilles, ardoises) argile de Virginie, kaolin et bauxite.

D'après Borchers, le travail tel qu'il est décrit dans le brevet Ch. Hall serait pratiquement impossible pour diverses raisons, dont l'emploi de cathodes en charbon. Cependant, comme il a fonctionné en France même, à Saint-Michel, et que, d'autre part, la production américaine est considérable et destinée à concurrencer la production européenne, nous en donnons la description d'après les feuilles techniques de l'Électro-Métallurgie.

---

(1) Sans doute une erreur de chiffre : 98,75 ou 99,75 pour les coulées intermédiaires de l'échelle de la fabrication.

Les dessins ci-dessous montrent l'appareil employé.

La figure 13 en donne une élévation, partie en coupe, et la figure 14 une vue de la partie inférieure de l'appareil légèrement modifié.

Dans la figure 13, A représente un châssis dans lequel est placé un récipient ou pile électrolytique B, composée de préférence en charbon ou en charbon alumine.

Pour le rendre plus solide, le récipient est enfermé dans une

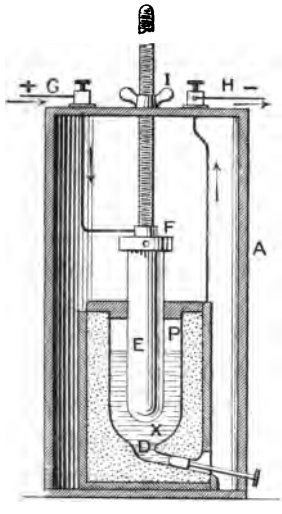


FIG. 13.

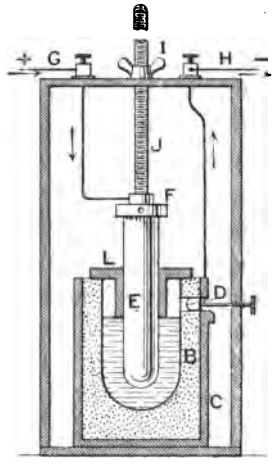


FIG. 14.

enveloppe en fer C, le châssis et l'enveloppe reposent tous deux sur une base convenable non conductrice. Le récipient est pourvu d'une ouverture d'écoulement D, placée près du fond et au-dessus du récipient ; le châssis porte un crampon F, dont un grand anode E pénètre dans l'axe du récipient. Cette anode est formée de charbon et d'oxyde d'aluminium intimement mélangés, et elle est maintenue dans la position verticale au moyen d'un dispositif convenable.

L'anode et le récipient B ou son enveloppe sont réunis aux fils positifs et négatifs et le récipient est rempli jusqu'à hauteur convenable d'une dissolution de chlorure d'aluminium, de sodium et de lithium fondus. Si les parties sont convenablement disposées, le passage du courant électrique décompose l'anode, l'aluminium qui y est contenu pénètre et se dépose au

fond du bain, et le métal fait son apparition à l'électrode négative. En même temps que s'effectue l'opération précitée, l'oxygène s'amasse à l'électrode positive, où il se combine avec le charbon, libérant ainsi la plus grande partie de l'oxyde d'aluminium.

Le métal réduit s'amasse au fond du récipient et peut alors être enlevé. Toute l'opération s'effectue automatiquement, si des dispositifs convenables ont été prévus pour régler la position de l'anode, et il n'est besoin que de renouveler l'anode de temps en temps quand elle est épuisée et de compenser dans le bain la perte survenue du fait de la volatilisation, ou d'autres causes; une quantité insuffisante d'alumine dans le bain accroît la résistance, et l'oxyde de carbone fait son apparition et brûle à l'anode, mais si la quantité en est suffisante, le gaz dégagé est du gaz carbonique anydre.

L'inventeur a trouvé qu'il était préférable de mélanger de l'alumine finement divisée au bain en en faisant un constituant de l'anode, puisque l'alumine semble se propager automatiquement à toutes les parties du bain et qu'il oppose une résistance uniforme au courant ; mais il a obtenu d'assez bons résultats en laissant l'alumine s'échapper de l'anode, dans lequel cas la première venait s'ajouter au bain où elle était brassée mécaniquement, soit d'une façon continue, soit à intervalles.

Il prétend que les bains chlorurés peuvent être avantageusement employés pour la production d'alliages d'aluminium avec une électrode négative fondue du métal à allier.

En formant un bronze d'aluminium, par exemple, on place une certaine quantité de cuivre au fond du récipient ainsi que cela est indiqué en X *(fig. 13)*.

Dans les conditions existantes, quand l'oxyde d'aluminium est réduit, le métal tombant au fond du récipient s'unit au cuivre fondu.

Le métal a été réduit à différentes occasions; la durée de chacun des essais effectués varia entre cinq et vingt-cinq heures. On employa un courant de 1000 ampères, avec 1 ou 4 pots en série, chacun des pots en question exigeant de 3 à 7 volts, la moyenne étant de 4,8 volts. Le métal fut, dans tous les cas, réduit de son oxyde au taux de 6/10 (0,6) de livre à l'heure, n'exigeant à l'heure pas plus de 8000 watts par livre.

Le procédé est continu et il fonctionne à raison de vingt-quatre heures par jour et de sept jours par semaine. Plus de 300 livres de métal ont été réduites, sur lesquelles 60 livres ont fourni à l'analyse 99,3 0/0, 99,52 0/0 et 99,7 0/0.

L'ensemble donne une pureté moyenne de 98,15 0/0 ; quelques livres renferment des impuretés provenant des anodes de charbon et qui atteignent une proportion de 5 0/0. Dans tous les essais, la substance électrolysée était de l'oxyde dissous, le flux était formé de chlorure de lithium, de sodium et d'aluminium dans certaines proportions.

Le charbon (employé comme anode) (1) fut consommé avec la proportion chimique exacte correspondant à la formule : $2Al^2O^3 + 3C$; une livre de charbon à 3 livres de métal produisit : $2Al^2 + 3CO^2$. Des brevets ont été pris pour la fabrication et pour la forme des *pots* employés.

Le plan provisoire suivant est indiqué : le bâtiment sera à l'épreuve du feu et, à l'exception de l'endroit où seront placées les soutes à charbon et les magasins à alumine et à bauxite, il n'aura qu'un seul étage. La bauxite sera transportée d'un convertisseur dans un coffre renfermant de 10 à 20 tonnes et de là par un convoyeur à un four à griller continu du type « Howel-White » ou d'un type analogue.

Dans ce four, l'eau contenue dans la bauxite est enlevée et le fer est transformé en oxyde de fer. De là, la bauxite est transportée dans des récipients où elle est soumise à l'action de l'acide sulfurique.

Après une durée de 5 à 10 jours, il se forme du sulfate d'aluminium, en dissolution avec une petite quantité d'acide libre, alors, si la chose est reconnue nécessaire, on le purifie, c'est-à-dire que le fer est enlevé. La présence de ce dernier n'est plus nécessaire puisqu'un excès de bauxite est présent.

Des réservoirs, la dissolution du sulfate, exempt de fer ou de silice, est pompée dans un four ayant une température de 500°; en cet endroit, l'acide et l'eau se dissocient de l'oxyde et sont

(1) A l'électrode négative et concurremment avec le cuivre, le platine (trop coûteux) à la positive. Une des imperfections du procédé qui l'ont particulièrement fait critiquer par Borchers (édition 1896).

condensés dans des chambres à air d'où ils sont pompés à nouveau dans les réservoirs pour être réutilisés.

L'oxyde qui s'est formé dans le four est une poudre blanche floconneuse, qu'on conserve jusqu'au moment où on l'emploie. Quand la chose est reconnue nécessaire, on la sèche dans un four et on l'introduit par un convoyeur dans des pots à électrolyse. Les pots en séries sont au nombre de 120 et dans ces derniers sont submergées les anodes en charbon.

Le métal réduit de l'alumine est enlevé de temps à autre et est maintenu à l'état liquide dans des fours séparés d'où il est ensuite coulé sous forme de lingots. L'installation de force consiste en deux batteries de chaudières à haute pression à tubes d'eau, de 800 chevaux-vapeur chacune, fournissant la vapeur à une machine à triple expansion, à condensation à surface, reliée directement aux dynamos dont l'une a un débit de 1000 ampères sous 50 volts, employée pour l'électrolyse et dont l'autre est employée pour l'éclairage et la mise en mouvement du convoyeur, des fours, etc.

La production du métal sera de 1440 livres anglaises à 99 0/0 de métal par journée de vingt-quatre heures.

Usine de Pittsburg (États-Unis). — L'usine de Pittsburg actionnée par les chutes du Niagara semble se développer considérablement et les comptes rendus du Conseil d'administration indiquent une prospérité complète et des bénéfices énormes. Elle traite les bauxites de la Géorgie et de l'Arkansas.

M. Hunt, directeur de la Pittsburg, déclarait en 1883 que, par ce procédé, le métal lingot arriverait dans peu d'années à un prix de 18 à 20 cents par livre anglaise, la répartition des prix étant environ : 1/3 pour le minerai, 1/6 pour la dépense des matières autres que le minerai, 1/3 pour la dépense du courant électrique, 1/12 pour le travail et la surveillance, 1/12 pour les frais généraux, intérêts et réparations.

Ce procédé légèrement modifié et perfectionné, dit-on, est actuellement exploité à Saint-Michel dans les usines de la nouvelle Société Électrométallurgique française, actionnées par une dérivation de la Valloirette et disposant d'une force motrice permettant de fabriquer 1 tonne 1/2 par jour d'un excellent métal.

Malheureusement, les feuilles techniques ne donnent pas — à notre connaissance du moins — de renseignements sur la méthode et les installations.

L'usine de Saint-Michel, autrefois la propriété de MM. Bernard frères pour l'exploitation du procédé Minet, a été jusqu'à ces derniers temps exploitée par une nouvelle Société ayant son siège à Paris et dirigée par M. Secrétan.

Elle appliquait le procédé américain Hall de la Pittsburg Cie sensiblement lo même que le procédé français Héroult avec quelques différences dans l'emploi des fondants. L'installation toute récente était très soignée, les divers bâtiments bien clos et la force motrice provenait d'une chute amenée sous un angle très aigu du sommet de la montagne de 200 mètres de hauteur environ.

La production peu considérable au début, par suite de la qualité des dynamos qui s'usaient assez vite, se développait sensiblement et les échelles de fabrication donnaient des parties à 995 millièmes de pureté dans les coulées intermédiaires. Mais il est probable que le prix de revient était trop élevé pour lutter contre la concurrence française et étrangère et l'usine vient de passer entre d'autres mains.

L'usine de Neuhausen s'est doublée de celle de Rheinfelden (duché de Bade) et de Lend-Gastein (Autriche). D'autres sont en création à Foyers (Écosse), en Norvège. En Angleterre, l'Aluminium Crower Metal Company Holyhead Birmingham, tire l'aluminium d'un alun très pur, utilisant les sous-produits. Al Company purifie Al^2O^3 par l'électrolyse et lui enlève le fer.

La Pittsburg Company, de son côté, avec les ressources des bauxites rouges des États du Sud, malgré leur infériorité sur les blanches du Var, causée par la présence en plus grande quantité du fer et aussi du titane, est en voie de développement continu qui ne peut que s'accentuer, étant données les réserves pour ainsi dire illimitées en force motrice naturelle, empruntées au Niagara.

Procédés allemands de Bucherer et de l'Aluminium-Industrie. Aktiengesellschaft. — Ces méthodes nouvelles (1890) sont

basées sur l'extraction de l'aluminium du sulfure fondu et dissous dans des chlorures alcalins.

Relativement à la préparation de son électrolyte, Bucherer dit « que par l'action des sulfures ou des polysulfures alcalins et des terres alcalines, avec l'intervention de soufre et de charbon en excès, l'oxyde ou l'hydroxyde d'aluminium est transformé à chaud en sulfures doubles d'aluminium et d'alcalins ou terres alcalines. »

La réaction se passerait d'après l'équation suivante :

$$3\,Na^2S + Al^2O^3 + 3C + 3S = Na^6Al^2S^6 + 3CO.$$

Dans une publication postérieure il parle également de tentatives qu'il a faites pour transformer, sans le concours d'autres sulfures, l'oxyde d'aluminium en sulfure. Le mélange d'oxyde d'aluminium et de charbon, maintenu au rouge blanc dans une cornue en terre, serait « en continuant l'opération pendant un temps suffisamment long » complètement converti en sulfure par des vapeurs de soufre.

$$Al^2O^3 + 3C + 3S = 3CO + Al^2S^3.$$

Les sulfures ainsi obtenus doivent ensuite être électrolysés, dans une solution de chlorures alcalins fondus, au moyen d'un courant de faible tension.

L'*Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft* emploie aussi une pareille solution, qui est maintenue fluide soit au moyen de la chaleur produite par le courant électrique, soit par la chaleur d'un fourneau. Dans le premier cas, environ 5 volts de tension sont nécessaires, dans le second, il n'est besoin que de 2,5 à 3 volts. Comme appareils, on peut employer des cuves en fonte ou en fer revêtues de charbon. On vante comme avantage particulier du procédé, que ni ce revêtement ni les anodes de charbon n'ont à souffrir des substances qui les touchent, de sorte que, outre l'économie considérable de charbon résultant de l'inutilité du remplacement de certaines parties de l'appareil on obtient un aluminium très pur.

Mais, quelque remarquable que soit la manière dont se comporte cet électrolyte sulfuré, il est très regrettable que nous ne puissions pas encore en tirer profit, car il n'est pas possible

de préparer à un prix suffisamment bas, d'après les méthodes jusqu'à présent connues, du sulfure d'aluminium pur. On s'est dit que de l'oxyde d'aluminium pur le métal peut être séparé directement par électrolyse, en outre, on a réfléchi que du sulfure pur ne doit être obtenu qu'avec l'oxyde pur et finalement on n'oublia pas, comme Buchener lui-même l'indique, que c'est à peine si, parmi toutes les réactions observées jusqu'à ce jour et effectuées pratiquement seulement avec des moyens chimiques on peut en trouver une qui égale celle qui a été citée précédemment ($Al^2O^3 + 3C + 3S = Al^2S^2 + 3CO$), sous le rapport de la consommation de chaleur.

En résumé, dans la pratique et généralement pour la fabrication de l'aluminium le traitement repose sur les bases suivantes :

1° Dissoudre l'oxyde d'aluminium dans des sels haloïdes fondus (chlorures et fluorures) des métaux alcalins, des métaux alcalino-terreux et de l'aluminium pour servir d'électrolyte ;

2° Maintenir la teneur en aluminium de la masse fondue pendant l'électrolyse par des additions d'oxyde d'aluminium ;

3° Employer comme anodes des blocs de charbon formés de plaques réunies en un faisceau, comme cathodes des corps métalliques refroidissables, qui seront introduits par le fond des vases de fusion ;

4° Opérer la fusion dans des cylindres en fer, plats, ouverts supérieurement et qui sont revêtus intérieurement de combinaisons d'aluminium pures, difficilement fusibles ;

5° Amener la fusion par la chaleur résultant du courant de 25000 ampères environ, par mètre carré de surface de cathode ou de section de bain, et éviter une température trop élevée tant au point de vue économique que pour échapper à la réoxydation du métal à l'anode par dissolution de ce dernier dans l'électrolyte et éviter les pertes de courant et de force par suite de la possibilité de la séparation et de la volatilisation des métaux alcalins à de plus hautes températures.

En tout état de cause, l'aluminium en liberté se rassemble au fond du vase de fusion, cela tient à ce que les poids spécifiques respectifs du métal fondu et solidifié présentent peu d'écart, contrairement à ce qui se passe pour la cryolithe et les solutions d'alumine dans les fluorures doubles en fusion.

§ 4. — Production de l'aluminium de 1891 à 1900.

Sous le rapport des progrès réalisés dans la fabrication et la production en ces derniers temps, les feuilles techniques d'Amérique (1) donnent les indications générales suivantes :

Dès aujourd'hui, comme l'indique le tableau ci-dessous établi fin 1896 dans une publication américaine, la production aux États-Unis est en progression rapide.

Années				
1891. . .	76237	kil. d'une valeur de	630000	francs.
1892. .	133000	—	958000	—
1893. . .	141000	—	1014000	—
1894. . .	370000	—	2452000	—
1895. . .	480000	—	2475000	—
1896. . .	589000	—	2600000	—

4 fr. 40 c. le kilogramme en 1896 aux Etats-Unis.

Cette production est due à l'exploitation des brevets Hall à la Pittsburg Reduction Company : le procédé Cowles et les anciens procédés chimiques n'étant plus employés que dans des cas déterminés et pour l'obtention du métal de laboratoire nécessaire pour certaines industries spéciales.

La production due au procédé Héroult est bien plus considérable : non seulement elle dépasse 2000 tonnes par an en France et en Suisse; mais elle est encore employée dans les usines de la British Aluminium Company maintenant en pleine opération à Foyers (Angleterre).

Dès aujourd'hui, dit une feuille technique étrangère (États-Unis), 3500 chevaux de force sont utilisés à Foyers pour la production de l'aluminium et du carbure de calcium : l'extraction du premier est estimée à 6000 livres par jour. Cela paraît quelque peu risqué, étant donnée la grande avance prise par les Sociétés françaises, américaines et suisses.

En effet il y a lieu de n'accepter les chiffres donnés pour la

(1) Celles d'Europe et de France en particulier s'étendent peu sur leur production qui semble suffire à peine aux demandes sans cesse croissantes de l'industrie.

production de Foyers qu'avec quelque réserve. La *British Aluminium Company* cependant prétend être bien préparée pour l'avenir en ce qui concerne la force, car en addition aux 14000 chevaux qui sont utilisés à Foyers, la Société a acheté plusieurs propriétés en Angleterre et dans le pays de Galles et l'on prétend qu'elle négocie l'achat d'une grande force en Norvège.

La même feuille ajoute : En France, 3000 chevaux de force sont utilisés à la Praz par la Société électro-métallurgique française, et environ 3600 livres sont produites journellement par le procédé Héroult, tandis que la Société industrielle de l'Aluminium utilise 4000 chevaux de force à Saint-Michel pour la production journalière de 5000 livres d'aluminium par le procédé de Hall (chiffres à modifier par suite de la cession à une autre Société comme il a été dit ci-dessus).

En Suisse, l'*Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft* produit journellement 5000 livres d'aluminium avec 4000 chevaux de force par le procédé Héroult-Kiliani (usine de Neuhausen) et en 1895 la Compagnie était à la tête de toutes les autres fabriques avec un surplus de 640 tonnes.

Actuellement, la production se décompose ainsi :

	1898	1899	1900
France	565	760	810
Suisse	800	890	970
États-Unis	2350	2640	2960
Angleterre	315	470	520
TOTAUX	4030	4760	5260 (1)

Les demandes pour l'aluminium dans les États-Unis se sont largement accrues dans ces derniers temps par des achats pour le Japon, et il est fort probable que l'Europe sera bientôt sujette à une inondation de ce métal moderne employé dans la confection des objets d'art de l'Extrême-Orient.

Le compte rendu ajoute que les sept usines qui produisent à présent de l'aluminium usent soit des procédés Héroult, soit de

(1) Il est bon de considérer que tous ces chiffres semblent ne reposer que sur des documents anciens ou des prévisions, puisqu'il est notoire que l'usine de la Praz fonctionne avec 10000 chevaux au moins et produit 1000 tonnes d'aluminium par an et que celle de Saint-Michel, transformée, en produit déjà de 5 à 600.

ceux de Hall et comme la principale différence dans ces procédés est celle du nom, il n'est pas très surprenant qu'il y ait eu, dans un des journaux dévoués aux intérêts de ce métal, des allusions à une combinaison possible des maisons de production pour une régularisation dans la production et le prix.

Le prix courant coté pour la meilleure sorte d'aluminium dans ce pays est de 16 schellings 6 pence par livre; le prix rationnel dans les États-Unis était de 20 pence par livre. En vue de ces chiffres une estimation récemment publiée par Robert Rusten sur le coût de la production est très intéressante. Le coût se monte à 13 schellings 6 pence par livre, dans lequel prix 1 schelling 1 penny est pour l'énergie électrique, tandis que 6 schellings, ou environ 44 0/0 du total sont pour le matériel (minerai) brut qui sert à la fabrication.

M. Becker, ex-directeur des usines d'aluminium de Saint-Michel, a publié dans son journal l'*Industrie Electro-Chimique* une méthode pour arriver à la réduction du prix de revient de ce métal au moyen d'une substitution de bauxite calcinée (à 0 fr. 05 la livre) à l'alumine raffinée généralement employée.

Puisque 22 livres de cette bauxite calcinée suffiraient pour produire une livre d'aluminium, il s'ensuit qu'une telle substitution réduirait la dépense et conséquemment le prix de l'aluminium de 4 schellings 9 pence par livre.

L'aluminium produit contiendrait cependant environ 6 0/0 de silice et de fer comme impuretés que l'on devrait éliminer par un raffinage ultérieur.

Blackmore, de New-York, a suggéré l'usage du sulfite d'aluminium fabriqué par une méthode plus économique, au lieu de l'oxyde.

Kershane a examiné cette proposition et montré qu'elle n'effectuerait aucune réduction dans le prix de revient du métal.

Personnellement, étant données les conditions que doit réunir l'aluminium, débarrassé de fer, de silicium et autres impuretées nous avons peine à croire qu'un traitement direct de la bauxite aussi bien par l'électrolyse que par des procédés chimiques, puisse conduire à la fabrication rationnelle de ce métal à moins que son usage soit exclusivement réservé à certaines opérations métallurgiques.

CHAPITRE VI

Purification de l'aluminium et de ses alliages.

Divers procédés ont été employés pour affiner l'aluminium.

L'industrie russe est arrivée, sous ce rapport, à des résultats tels qu'à l'époque où l'aluminium coté comme le plus pur n'était qu'au titre de 940-950 millièmes, M. le pharmacien-major Riser a pu constater que le métal ayant servi à confectionner en ce pays des fers à cheval expérimentés en Finlande, était chimiquement pur et ne contenait que des traces indosables de fer, cuivre, silicium.

Parmi les méthodes expérimentées en France, en voici une due à M. Gaston Bernard (1).

Procédé G. Bernard. — Lorsqu'on fait passer, dans l'aluminium du commerce maintenu en fusion, un courant de vapeurs de soufre, d'hydrogène sulfuré ou de tout autre gaz ou mélange de gaz ayant une action sulfurante, les divers métaux combinés ou alliés à l'aluminium se séparent de ce dernier à l'état de sulfures. Certains sulfures sont volatils, d'autres sont fixes, plus ou moins lourds que l'aluminium et tombent au fond du métal ou montent à la surface. Les impuretés peuvent alors être séparées mécaniquement de l'aluminium.

Par l'addition d'un fondant sulfuré alcalin, on facilite la formation de sulfures doubles plus fusibles et se séparant mieux de l'aluminium.

---

(1) Il s'agit ici d'un procédé de laboratoire plutôt théorique, qui ne saurait être remcomandé dans la pratique de la grande industrie.

Ainsi le sulfure de sodium donnera avec le fer un sulfure double plus fusible que le sulfure de fer, et plus facile à séparer.

L'aluminium, ayant une affinité presque nulle pour le soufre, reste inattaqué après l'opération. L'aluminium renferme, en outre, des impuretés métalliques éliminables à l'état de sulfures : du carbone, de l'azote, du phosphore, etc.; or, si l'on fait passer dans du métal impur maintenu en fusion, un courant très faible d'oxygène, ou plus économiquement d'air sec, ces dernières impuretés sont brûlées, oxydées ; certaines se volatilisent, d'autres, plus fixes, remonteront à la surface du métal, d'où il sera facile de les éliminer.

La silice et le silicium constituent les impuretés les plus préjudiciables à l'aluminium et des plus difficiles à éliminer. Nous avons, à cet effet, utilisé avec succès l'action énergique de l'acide fluorhydrique, par un passage dans un barboteur en plomb rempli d'acide fluorhydrique pur fumant.

L'appareil est des plus simples *(fig. 15)* et se compose simplement : d'un creuset dans lequel l'aluminium est maintenu fondu et d'un tube communiquant avec le générateur d'air (ou des divers gaz employés), la partie du tube plongeant dans le métal est en terre de pipe. Le tube doit être mobile et pouvoir être baissé à volonté.

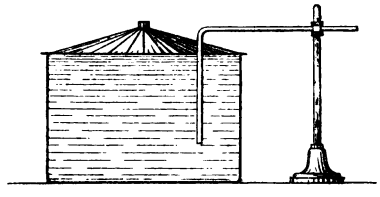


Fig. 15.

La silice et le silicium renfermés dans l'aluminium se volatilisent à l'état de fluorure de silicium. L'aluminium acquiert, par ces diverses opérations, des qualités très différentes et variables suivant chaque réactif épurant.

On peut donc par l'extraction d'un réactif simple ou par l'action combinée et simultanée des divers réactifs épurants, éliminer tel ou tel corps, *nuisible au métal suivant la destination qu'on lui donne*, et préparer ainsi des alliages purs d'aluminium avec du fer, du cuivre, du plomb, du nickel, du cuivre ou du nickel réunis, ainsi que des combinaisons de plusieurs de ces métaux à l'aluminium. Pour ne citer qu'un exemple, on obtiendra un ferro-aluminium pur, c'est-à-dire un alliage exempt d'impuretés, ne renfermant que fer et aluminium ordi-

naire, soit avec un simple courant d'air, soit avec un courant d'air chargé de vapeurs d'acide fluorhydrique.

Il faut noter ici que ce passage de gaz dans un alliage maintenu en fusion rend la masse très homogène et permet d'allier intimement l'aluminium avec des métaux lourds, c'est-à-dire former des alliages que l'on n'a pu fabriquer jusqu'ici d'une manière vraiment industrielle à cause du peu d'homogénéité que l'on obtient, même par des fusions répétées. Ces remarques ont aussi amené M. Bernard à utiliser dans la fabrication des alliages industriels, des gaz inertes, sans action, *choisis suivant les métaux renfermés dans chaque alliage.* Il fabrique ainsi des ferro-aluminium, cuivre-aluminium, chrome-aluminium, etc.

Comme on obtient, en électrolyse, un rendement supérieur en aluminium lorsqu'on fabrique de l'aluminium allié, il se réserve d'utiliser le procédé ci-dessus décrit pour séparer l'aluminium des alliages ainsi obtenus par voie électrolytique.

D'une façon générale, à défaut des procédés d'affinage connus et sanctionnés par l'expérience, nous ne saurions trop appeler l'attention sur l'importance des soins à apporter :

1° Au choix des bauxites;

2° A la fabrication et purification de l'alumine en évitant la formation des silicates et poursuivant rigoureusement l'élimination du fer, du silicium, etc.

3° A la confection des électrodes pour lesquelles il semble que le charbon de cornue est trop impur, trop siliceux et pourrait être remplacé par du charbon de pétrole, de sucre, peut-être ainsi que l'installation des cuves recouvertes de plombagine ou produits analogues. Il semble surtout que les fabriques d'alumine devraient être spécialisées de manière à éviter l'accès et l'incorporation à la coulée ou au laminage des poussières métalliques, siliceuses et autres.

CHAPITRE VII

Méthodes pour souder l'aluminium.

La grande difficulté d'unir deux morceaux de ce métal par la soudure, opération qui ne réussit guère que pour le fer à vrai dire, a été un grand empêchement à son emploi, même dans les cas où son prix élevé n'était pas une objection décisive. Ce qui paraît mettre obstacle à l'opération, c'est que lorsqu'on chauffe l'aluminium pour la soudure il se produit à sa surface une fine pellicule d'alumine qui s'oppose complètement à l'union de la matière servant à souder et du métal. Le fait se passe de même avec les alliages d'aluminium. Cependant, en y mettant un soin particulier on peut unir des morceaux du métal par les procédés suivants, dont certains sont impraticables sur une grande échelle à cause du prix des ingrédients nécessaires.

Le *Bulletin technologique de la Société des Anciens Éleves de l'École des Arts et Métiers*, septembre 1893, donne sur ces soudures les renseignements suivants : Il y est rappelé que Mourey a soudé en 1859 l'aluminium avec du zinc pur et avec des alliages à base de ce même métal. Debray a démontré que le métal s'allie facilement avec le zinc et l'argent et la plupart des métaux. C'est de ce principe que semblent dériver la plupart des soudures présentées par les inventeurs depuis quelques années.

Toutes doivent être considérées comme d'un usage fort

restreint s'appliquant difficilement au fer à souder, mais pouvant servir de brasure avec un étamage préalable.

Cela tient à l'impossibilité de faire intervenir, pour souder l'aluminium, les composés chlorés utilisés pour souder les autres métaux comme zinc, étain, plomb, bismuth, cadmium, et à la difficulté d'étamer parfaitement ce métal. A vrai dire, la chimie n'a pas encore préparé le corps qui doit dissoudre l'oxyde formé à la température de fusion de la brasure; le borax, le sel de phosphore, le cyanure de potassium, la cryolithe fondent à des températures supérieures à celles du métal lui-même.

M. Ed. Thomas a mieux réussi avec le chloro-iodure de zinc, chauffé à 400 degrés environ; il arrive à galvaniser le métal après enlèvement des chlorures formés et le rendre propre à recevoir tous les métaux et alliages qui s'allient facilement au zinc.

D'autres corps : chlorure d'argent fondu et bromure, fondants de premier ordre, à doses très faibles, donnent également des soudures, mais pas de nature à résoudre complètement le problème.

Soudure Bourbouze. — Parmi les premières soudures expérimentées, se place dès 1886 celle de Bourbouze, préparateur au Collège de France. Le procédé des plus ingénieux consiste à faire subir aux parties des différentes pièces que l'on veut réunir, l'opération ordinaire de l'étamage. Seulement, au lieu d'employer l'étain pur, on doit faire cette opération avec des alliages tels que étain et zinc, ou bien étain, bismuth et aluminium, etc.

On arrive à de bons résultats avec tous ces alliages, mais ceux auxquels on doit donner la préférence sont ceux d'étain et d'aluminium. Ils devront être préparés en différentes proportions suivant le travail que l'on devra faire subir aux pièces à souder. Pour celles qui devront être façonnées après soudure, on devra prendre un alliage composé de quarante-cinq parties d'étain et de dix d'aluminium. Ce dernier est suffisamment malléable pour résister au martelage.

Les pièces ainsi soudées peuvent être mandrinées et tournées. Celles qui n'auraient à subir aucun travail après le soudage peuvent, quel que soit le métal à souder à l'aluminium, être

solidement réunies par la soudure tendre d'étain contenant moins d'aluminium. Cette dernière soudure peut être appliquée avec le fer à souder, en opérant comme on le fait pour souder le fer-blanc, ou bien encore dans une flamme.

L'une comme l'autre de ces soudures n'exigent aucune préparation préalable des pièces; il suffit d'appliquer la soudure, de l'étendre à l'aide du fer à souder sur les parties qui devront être réunies.

Quand on veut souder certains métaux avec l'aluminium, il est bon d'étamer la partie à souder du métal avec l'étain pur. Il suffit alors d'appliquer sur cette partie l'aluminium étamé avec l'alliage et de terminer l'opération de la manière ordinaire.

Cette méthode est des plus judicieuses : malheureusement elle ne semble pouvoir s'appliquer qu'aux points soustraits à l'action de l'humidité.

Soudure à l'argent. — Une autre de ces premières soudures se composait de deux parties d'aluminium et d'une partie d'argent. Elle coulait difficilement et formait un point de réunion un peu cassant.

Soudure à l'étain et bismuth. — Les mélanges suivants, composés d'étain et de bismuth, ont été employés et, dit-on, avec succès :

Étain.	85 à 95	pour 100 en poids.
Bismuth . . .	15 à 5	—

Pour une soudure tendre, le mélange change et devient :

Étain	99 parties.
Bismuth	1 partie.

auquel on ajoutait une partie de Al lorsqu'on voulait avoir une soudure plus résistante (1).

---

(1) Mme Bourbouze, la si dévouée compagne de l'ancien préparateur à la Sorbonne, continue ces recherches par ses propres ressources, tant elle en reconnaît l'importance.

Les proportions données ci-dessus peuvent être modifiées :

Pour soudure tendre en. . . .	90	parties d'étain.
	10	— de bismuth.
Et pour soudure forte en . . .	90	parties d'étain.
	5	— de bismuth.
	5	— d'aluminium.

Dans tous les cas, il faut mélanger les constituants et les fondre en barres. On commence par chauffer modérément les pièces préalablement nettoyées, et l'on applique ensuite la soudure avec le fer à souder en se servant de vaseline on de paraffine comme fondant.

Procédé Mourey au zinc et aluminium. — En 1859, alors que la difficulté de réunir deux pièces de métal avait découragé les expérimentateurs, Mourey imagina le procédé suivant dont les résultats furent proclamés parfaits. Il donna, les formules de cinq mélanges dont le plus faible était mis le premier :

	Zinc.	Aluminium.
I	80 parties.	20 parties.
II	85 —	15 —
III.	88 —	12 —
IV.	92 —	8 —
V	94 —	6 —

On commence par fondre le dernier métal en proportion convenable dans un creuset de graphite, puis on y ajoute doucement le zinc en remuant constamment. On met de petits morceaux de lard ou de graisse sur la soudure fondue pour prévenir l'oxydation du zinc qui produirait la fragilité de la matière. Après avoir préparé les surfaces à réunir en faisant fondre sur elles de la soudure qui, dans le tableau ci-dessus, est faible par rapport à celle qu'on emploiera finalement et les avoir soigneusement nettoyées et aplanies, on assemble les parties et on les chauffe fortement sur une lampe à alcool. Alors on applique la soudure avec un outil appelé improprement fer à souder l'aluminium.

Pour faciliter la fluidité et l'adhésion de la soudure, on emploie un mélange composé de trois parties de baume de copahu et d'une partie de térébenthine de Venise, avec quelques gouttes d'un acide végétal dont on se sert comme fondant et dans lequel on trempe la soudure. Il faut avoir bien soin, lorsqu'on fait chauffer, de ne pas oxyder le zinc.

Soudure Ludwig Oliviers. — L'inventeur suédois, en recherchant l'utilisation de l'aluminium pour les instruments de musique, jumelles, etc., a cherché, comme Bourbouze, à étamer préalablement les parties d'aluminium à réunir, chauffées à 450° Fahrenheit, en enlevant la couche d'oxyde de la surface de l'aluminium à l'aide d'une brosse en fils métalliques, la couche liquide surnageant à la surface métallique empêchant la réoxydation.

On a pu arriver ainsi, paraît-il, à souder un morceau d'aluminium sur le milieu d'un autre morceau de ce métal et à angle droit. Une tentative faite pour les séparer en ramenant le morceau soudé d'arrière en avant, ne réussit qu'à rompre l'aluminium, à qui le recuit avait certainement (ce que ne dit pas l'auteur du procédé) fait perdre de sa résistance mécanique.

Des échantillons de tubes en aluminium, formés par soudage analogue, sont exposés dans les bureaux de la British Aluminium Company de Londres. Des tôles de fer, de cuivre, etc., ont été recouvertes d'aluminium, au moyen du même procédé.

Soudure au cadmium, zinc, étain.

Cadmium	50 0/0
Zinc	20 0/0
Étain	30 0/0

Cette soudure est employée en Norvège; mais, comme toutes celles de ce genre, elle ne semble pas de nature à donner de réunion fixe à cause des actions électro-chimiques consécutives.

Soudure à base de zinc, étain et plomb.

Zinc	5 parties.
Étain	2 —
Plomb	1 —

Mêmes remarques que ci-dessus ; étamage préalable.

Soudures Delécluse. — D'autres soudures ont été découvertes par M. Delécluse qui, à l'aide d'une composition spéciale peut souder par le fer ordinaire à braser : 1° l'aluminium sur l'aluminium; 2° l'aluminium sur le fer, le cuivre, le zinc, l'argent en alliage.

De même qu'avec les précédents procédés les résultats à sec sont appréciables, surtout dans les essais exécutés sous des plaques soudées après biseautage ; mais on ne peut répondre de la durée de la réunion des fragments, sous l'action de l'humidité par exemple.

Voici, d'après le journal *Nature*, comment procède l'inventeur :

1° Pour les pièces légères on opère comme suit : pour souder l'aluminium sur l'aluminium, il suffit de décaper soigneusement à la lime les parties des pièces que l'on veut réunir. On peut pour cette opération se servir du fer ordinaire en cuivre rouge des ferblantiers, en ayant soin de le tenir bien propre et le chauffer à la température de 100 degrés environ. La composition maniée par un ouvrier habile, se conduit sur les pièces à peu près aussi facilement que l'étain anglais dont se servent les ferblantiers. Ce mode d'emploi exige des ouvriers compétents en la matière, car la plus sérieuse difficulté à vaincre, c'est la grande conductibilité calorifique de l'aluminium et de ce fait, il arrive souvent que quand on veut souder un côté, on dessoude l'autre.

2° Pour les pièces de résistance qui doivent être brasées, il est nécessaire de procéder comme suit : les parties à réunir doivent être décapées soigneusement à la lime et étamées avec la composition au moyen du fer à souder ordinaire. Après cette opération l'on superpose les pièces et on les fait chauffer (jusqu'à fusion de la soudure) par n'importe quel procédé, fer ordinaire, étaux chauds, fours à braser, nouveaux procédés électriques, etc., en ayant soin de faire pression sur les parties à braser pendant tout le temps que dure le chauffage et le refroidissement des pièces.

Il est à remarquer que plus il y a de pression sur les pièces pendant l'opération, plus on obtient de résistance et par conséquent moins d'apparence de soudure.

3° Pour souder ou braser l'aluminium sur un autre métal,

on décape, comme précédemment, l'aluminium et le métal employé à la manière ordinaire, c'est-à-dire àl'acide chlorhydrique ou à l'eau régale, en ayant soin d'essuyer ce dernier avant l'opération et l'on opère conformément aux méthodes n° 1 ou n° 2, suivant la résistance à obtenir.

Voici quelques résultats obtenus par ce procédé : des plaques d'aluminium soudées par recouvrement de 25 millimètres carrés de section (25 millimètres de largeur sur 1 millimètre d'épaisseur) ont résisté à la charge de 500 kilogrammes, soit 20 kilogrammes par millimètre carré de section. .

L'aluminium a cédé à la naissance de la brasure, tandis que cette dernière est restée intacte

Soudures diverses. — Parmi les soudures que nous avons eu l'occasion d'analyser nous en avons examiné une composée de zinc pour la plus grande partie et de plomb pour le reste, quelque chose comme le zinc de commerce pour toitures qui renferme parfois jusqu'à 20 0/0 de plomb.

Il n'a pu être procédé à l'analyse quantitative à cause de la difficulté d'obtenir suffisamment pure et isolée du corps de l'ustensile une proportion d'alliage suffisante.

Une autre, formée presque exclusivemeut d'étain avec traces de nickel, cuivre et autres impuretés provenant sans doute du bain, supporte la température de l'étuve sèche à 115° et l'eau bouillante ; elle paraît néanmoins assez imparfaite et appliquée plutôt par juxtaposition qu'à l'état de combinaison.

Soudure autogène de l'aluminium. — Dans quelques expériences récentes, M. W. Spring a montré que deux morceaux d'aluminium soigneusement préparés, pressés ensemble et chauffés à une température de 784° Fahrenheit, pendant une période de 8 heures, indiquaient des signes de soudure.

En plaçant un morceau entre les mâchoires d'un étau, l'autre morceau put être tourné sans que le joint se brisât.

Si l'on considère la difficulté qu'on éprouve à souder l'aluminium, cette expérience est digne de remarque (1).

---

(1) En France, M. Drouilly est arrivé à obtenir également l'agglomération de grains très fins d'aluminium à une température qui doit être la même que celle des expériences de M. W. Spring. Il a pris, pour cela, des bandes d'aluminium de 3 à 4 milli

On a obtenu des résultats analogues avec d'autres métaux quand des surfaces propres se trouvaient pressées les unes contre les autres et soumises à une chauffe prolongée, bien que la température fût dans des cas nombreux bien au-dessous du point de fusion de ce métal.

Ainsi, quand deux morceaux de platine furent traités de la sorte à une température de 720° Fahrenheit, ou d'environ 2880° Fahrenheit au-dessous du point de fusion, l'adhérence se produisit.

On n'a pas remarqué cette action soudante avec des métaux cassants comme l'antimoine et le bismuth *(Engineering)*.

En résumé, on ne possède encore pas de soudure ou brasure parfaite pour réunir l'aluminium et les alliages légers.

Toutes les combinaisons présentées, même celles qui permettent la juxtaposition de deux parties de métal à angle droit, et semblent d'une solidité à toute épreuve, n'ont qu'une durée relative et ne pourraient être utilisées qu'avec la protection de vernis spéciaux. Cette remarque s'applique surtout aux compositions à base d'étain, zinc, plomb, qui présentent généralement le double inconvénient :

1° De donner naissance au contact de l'humidité, de l'atmosphère saline principalement, à des actions électro-chimiques avec dégagement d'hydrogène, bientôt suivies d'altérations profondes et destruction de la composition formée au point de contact.

2° De réintroduire dans les applications de l'aluminium des métaux de nature à donner naissance à des altérations et à des composés dangereux pour la santé, alors que le nouveau métal en lui-même, et au titre de pureté voulu, peut être considéré, ainsi que nous l'avons vu, comme inaltérable et ne pouvant fournir que des composés d'une innocuité absolue.

On ne peut cependant pas désespérer puisque l'on s'accorde à reconnaître que la difficulté provient surtout de la facilité avec laquelle l'aluminium se réoxyde à chaud, reformant de

---

mètres d'épaisseur et les a grenaillées avec des râpes circulaires de façon à enlever la légère couche d'oxyde qui recouvre généralement l'aluminium et empêche le rapprochement (décapage mécanique) ; en augmentant progressivement la vitesse de la râpe circulaire et la pression des bandes d'aluminium sur ces râpes, il est arrivé à un apoint où toute la grenaille produite se soudait à elle-même au fur et à mesure de la production et reformait une masse compacte.

l'alumine, si réfractaire à la réduction par les moyens ordinaires.

La solution semble donc liée à la découverte d'un procédé électrique agissant comme source de chaleur sur un bain isolant de cryolithe, par exemple, ou de la soudure dans un courant réducteur (1) comme l'hydrogène, avec la précaution préalable de décaper ou nettoyer parfaitement le métal ou en saupoudrant les surfaces à réunir, pour les objets d'art, avec du chlorure d'argent et un fondant.

Il existe bien d'autres soudures (2), plus ou moins complexes. On peut même dire que chaque industriel s'occupant du nouveau métal et de ses alliages est possesseur d'une méthode et d'une composition particulières. Mais il est rare que le rapprochement ainsi effectué résiste à l'action prolongée de l'humidité ou à l'action des solutions acidulées, comme à celle des alcalins concentrés (qui, avec l'acide chlorhydrique, le véritable dissolvant de l'aluminium, reste le deuxième ennemi à redouter dans la pratique).

Aussi, étant donnée l'extrême inaltérabilité de l'aluminium et de ses alliages les plus appréciés, comme ceux constitués avec des pourcentages de cuivre, par exemple, il sera toujours préférable de recourir à la fabrication par voie d'emboutissage ou aux pièces venues de fonte, qu'à celle basée sur le rapprochement des diverses parties. Ces méthodes seront en effet généralement suffisantes, puisque la première permet d'obtenir des récipients du volume de 6 à 8 litres, très aptes au rivetage d'anses, poignées, etc., ou des surfaces d'une superficie correspondante, et que la seconde donne des récipients de toutes dimensions, y compris les baignoires (présentant, soit dit en passant, l'avantage d'être inaltérables par les produits sulfureux) (3), les chaînes, clefs, objets d'art et d'orfèvrerie, châssis et pièces mécaniques pour carrosserie, automobilisme, aérostation, etc., comme celles qui se font en grand, dans les usines de Puteaux (4), aussi simplement qu'avec la fonte de fer.

---

(1) Indication qu'a bien voulu nous donner M. Vogt, le distingué chimiste de la Manufacture nationale de Sèvres.

(2) Une des plus simples, sous le rapport de la composition, mais des plus difficiles à appliquer (M. Collin), ne comporte guère que 1 0/0 de nickel.

(3) Les polysulfures alcalins exceptés.

(4) Où se travaillent déjà annuellement 400 tonnes d'aluminium sous diverses formes.

Les soudures seront réservées pour l'orfèvrerie et les objets d'art en général, pour les petites pièces mécaniques ne devant pas être soumises à l'humidité ou au contact de solutions salines ou acidulées. Certaines, exemptes de zinc, plomb et autres métaux de nature à former des composés toxiques, pourront être utilement employées pour réparer les ustensiles ordinaires, plus ou moins endommagés par suite de recuits répétés, accidents ou causes quelconques, autres que l'action des alcalins concentrés, de l'acide chlorhydrique et des composés chlorés en général.

Les brasures et soudures autogènes devront être exigées dans les constructions mécaniques et la mise au point semble prochaine si la découverte d'un ingénieur français (soudure par l'emploi du carbure de calcium) se confirme, comme on est en droit de l'espérer.

CHAPITRE VIII

Analyses de l'aluminium.

Quels que soient les progrès réalisés, le métal obtenu par les divers procédés chimiques ou électrolytiques, sa composition est non seulement variable, mais encore elle n'est pas toujours homogène.

Aussi ne saurait-on porter trop d'attention sur les méthodes d'analyse qualitative et surtout quantitative. Malheureusement, si la chose est des plus simples pour les métaux comme le fer, les fontes et aciers, le cuivre et les bronzes, le nickel, etc., il n'en est pas de même pour l'aluminium, et cela n'a pas été sans influence sur les incertitudes et surprises signalées dans les premières applications.

En effet, tout d'abord, si on traite les échantillons à examiner, et à chaud surtout, par le véritable dissolvant du métal, c'est-à-dire l'acide chlorhydrique concentré, il se produit des pertes de silicium entraîné à l'état d'hydrogène silicié; ensuite, il est presque impossible de séparer complètement l'hydrate d'oxyde d'alumine de l'hydrate de peroxyde de fer; enfin, les laboratoires ne s'étant pas arrêtés à certaines impuretés de réoxydation, l'analyse était forcément incomplète et négligeait, non seulement l'alumine de réoxydation, mais encore le sodium, dont les inconvénients ont été signalés par M. Moissan.

§ 1. — Première méthode.

Personnellement, jusqu'en 1892, nous avions employé la méthode suivante :

Essais qualitatifs. — Rechercher par les réactifs appropriés la présence du fer, du cuivre, du titane (aluminium d'Amérique), du zinc, du plomb, etc.

Analyse quantitative. — On attaquait 1 gramme d'aluminium par l'acide chlorhydrique pris à la température ordinaire, ou à 80° avec l'acide chlorhydrique étendu au 1/5 ; cela demandait de 7 à 8 heures en surveillant bien l'opération.

On filtrait et on attaquait le résidu sec, rigoureusement pesé dans un creuset de platine, par un mélange de carbonate de potasse et de carbonate de soude en fusion. Le contenu du creuset était repris par HCl et cette solution réunie à la première; la solution chlorhydrique totale était évaporée au bain-marie jusqu'à expulsion complète de l'acide libre.

On reprenait le résidu sec par l'eau faiblement acidulée. On chauffait, filtrait, et on obtenait la silice lavée et séchée.

1° *Dosage de l'aluminium.* — En l'absence du fer, du cuivre, du plomb, zinc, nickel, cobalt, chrome, l'aluminium eût pu être dosé par le sulfhydrate d'ammoniaque.

Après avoir rendu la liqueur presque alcaline, le sulfure d'aluminium cailleboté était plus facilement précipité que l'hydrate d'oxyde d'aluminium en présence du fer.

Mais, le cas d'aluminium exempt de fer ne se produisant pour ainsi dire jamais, il était nécessaire de recourir à d'autres méthodes, comme la séparation classique des oxydes d'alumine et de fer par la potasse ou les suivantes :

a) Procédé Chancel. — La liqueur, faiblement acide et résultant du traitement de 2 grammes d'aluminium par l'acide chlorhydrique pur, est additionnée d'hyposulfite de soude à l'ébullition. Il se fait du chlorure de sodium, de l'anhydride sulfureux, du soufre et de l'alumine. Le fer passant dans la liqueur

est dosé par la solution titrée de permanganate de potasse à 5 gr. 643 par litre.

Plus tard, nous avons adopté le suivant :

b) Procédé Carnot (Modification du procédé Chancel). — La liqueur primitive chlorhydrique, presque neutralisée par du carbonate de soude pur, est traitée à froid par l'hyposulfite de soude, puis à l'ébullition avec de l'acétate de soude, un léger excès d'acide acétique et du phosphate de soude.

Il se fait un précipité de phosphate d'alumine insoluble dans l'acide acétique, mais presque aussi difficile à laver que celui d'hydrate d'alumine.

Voici, au reste, le mode opératoire :

On opère sur 2 grammes de métal, la liqueur est étendue à un litre et, une fois l'alumine obtenue à l'état de phosphate, on prend les précautions suivantes :

Après traitement sur le filtre par 10 ou 15^{cc} d'acide chlorhydrique dilué pour dissoudre le phosphate en éliminant le dépôt de soufre, on étend d'eau les liqueurs filtrées et on répète sur elles la précipitation à l'état de phosphate, en opérant exactement comme la première fois : neutralisation presque complète de l'acide par le carbonate de soude, addition d'hyposulfite à froid, et, plus tard, d'un mélange dissous à l'avance de 2 grammes d'acétate de soude et 2 grammes d'hyposulfite en solution, puis de phosphate de soude ; ébullition d'une demi-heure. Le précipité de phosphate d'alumine est lavé à l'eau bouillante par décantation suivie de filtration.

Après dessiccation, incinération du filtre et calcination dans un creuset de porcelaine taré, le phosphate d'alumine est pesé : il renferme 22,45 0/0 de son poids d'aluminium.

2° *Dosage du fer à l'état de sesquioxyde.* — La liqueur évaporée, réduite à un petit volume, est traitée par l'acide chlorhydrique en excès ; on ajoute un peu de chlorate de potasse et, quand le soufre s'est aggloméré, on porte le volume à 500^{cc} ; on filtre et, après lavage, le fer est précipité par l'ammoniaque.

Cette méthode, expérimentée par M. Galbrun jeune, chimiste distingué, élève du professeur Strauss, et concurremment avec la méthode volumétrique du fer maintenu au minimum a donné :

0,0115 de peroxyde de fer, soit 0,0062 de fer pour 1 gramme ou 0,67 de fer 0/0, chiffre légèrement inférieur à celui obtenu par le dosage volumétrique.

Ces analyses restaient donc d'ordre fort délicat, surtout pour la séparation de l'oxyde de fer d'avec l'alumine. Le dosage du cuivre, qui commençait à entrer dans les proportions de 3 à 6 0/0 dans les alliages légers, ne pouvait guère être évalué que par l'électrolyse, le silicium disparaissant en partie à l'état d'hydrogène silicié ; le carbone n'était pas rigoureusement dosé à cause des différents états sous lesquels il pouvait se trouver dans le métal. D'autre part, on ne se préoccupait pas du sodium, élément des plus nuisibles au point de vue de la conservation du métal, et qui se rencontrait non seulement dans le métal obtenu par les procédés chimiques, mais encore dans ceux résultant des premiers traitements électrolytiques, surtout quand la cryolithe jouait le rôle prépondérant.

Une méthode plus complète, dosant également le sodium, le carbone et l'alumine préexistante a été, il y a quelques années, établie par M. Moissan et publiée dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*

Nous la reproduisons néanmoins ci-dessous, en faisant ressortir son exactitude absolue, obtenue malheureusement au prix d'une perte de temps considérable pour la partie toujours délicate : la séparation de l'élément aluminium du fer, qu'il n'a pas été possible encore d'éliminer complètement de la fabrication.

§ 2. — Méthode Moissan pour l'analyse de l'aluminium et de ses alliages.

Essais préliminaires.

On doit tout d'abord rechercher si l'aluminium contient du cuivre. On fait dissoudre une petite quantité d'Al, environ 2 grammes, dans l'acide chlorhydrique étendu d'eau et cette solution est traitée par un courant d'hydrogène sulfuré. Dans le cas où la teneur en cuivre est très faible il est utile de chauffer légèrement la solution et de la maintenir tiède pendant quelques heures après le passage de l'hydrogène sulfuré. On

filtre et le cuivre est recherché qualitativement dans le résidu. L'analyse qualitative est conduite ensuite de façon à constater la présence du silicium, du fer, du carbone et de l'azote.

1° Aluminium sans cuivre.

Dosage du silicium. — On pèse 3 grammes environ de métal qui sont attaqués par l'acide chlorhydrique pur étendu au 1/10. Quand il y a un résidu de couleur grise (contenant du silicium, du fer, de l'aluminium et du charbon) on sépare cette poudre et on l'attaque par une petite quantité de carbonate de soude en fusion dans un creuset en platine. Le contenu du creuset est repris par de l'acide chlorhydrique étendu et cette solution est réunie à la première.

Le liquide est placé dans une capsule de porcelaine et maintenu au bain-marie jusqu'à dessiccation. La capsule est alors portée dans une étuve à air chaud dont la température est de 125°.

Le résidu doit alors être absolument blanc pulvérulent et ne doit plus s'attacher à l'agitateur. Pour obtenir ce résultat il est bon de gratter les parois de la capsule avec une spatule de platine et d'écraser les grumeaux qui se sont produits avec un pilon en agate. On la retire après douze heures de séjour à l'étuve à air chaud lorsque l'on a constaté qu'un agitateur mouillé par l'ammoniaque placé sur la capsule ne donne plus de fumées blanches; ce qui indique que tout dégagement d'acide chlorhydrique a cessé.

La dessiccation étant terminée, on reprend par de l'eau distillée tiède dans laquelle on ajoute le moins possible d'acide chlorhydrique, on porte le liquide à l'ébullition pendant quelques minutes, la silice reste insoluble; puis on jette le résidu sur un filtre; après lavage et dessiccation on calcine et on pèse.

Dosage de l'aluminium et du fer. — La solution primitive de l'aluminium dans l'acide chlorhydrique au 1/10 après séparation de la silice a été étendue d'eau de façon à former un volume de 500 centimètres cubes. On prend 25 centimètres cubes de cette solution correspondant à 0,150 d'aluminium, on

neutralise à froid par l'ammoniaque et l'on précipite les deux oxydes par du sulfure d'ammonium récemment préparé. On laisse le mélange en digestion pendant une heure. Le précipité est ensuite jeté sur un filtre, lavé, séché, calciné et pesé. On évite la précipitation par l'ammoniaque; car pour que cette dernière soit complète, la solution ne doit pas être trop étendue et doit renfermer une assez grande quantité de sels ammoniacaux et très peu d'ammoniaque libre.

On peut, il est vrai, se débarrasser de l'excès d'ammoniaque par l'ébullition; mais dans ce cas, on doit s'arrêter dès que la liqueur n'est plus que légèrement alcaline; si l'on dépasse ce point, l'alumine réagit lentement sur le sel ammoniacal et le liquide prend une réaction acide.

L'alumine précipitée est, comme on le sait, très difficile a laver. Il est indispensable que le lavage se fasse par décantation dans un verre de Bohême de forme cylindrique et avec de l'eau bouillante. Le lavage est terminé lorsque l'eau surnageante ne contient plus de chlorure. Le précipité est jeté sur un filtre, séché, calciné et pesé.

On obtient ainsi le poids d'alumine et de sesquioxyde de fer contenu dans l'aluminium.

Il est très important aussi de dessécher avec soin cette alumine avant de la porter au rouge. De plus, la calcination doit être opérée avec lenteur, parce que l'alumine désséchée, décrépite parfois, quand on la calcine. Enfin, la calcination doit être poussée assez loin, car l'alumine ne perd complètement l'eau qu'elle renferme que sous l'action d'une chaleur assez intense.

Dosage du fer. — Pour doser le fer, on prend après séparation de la silice, 250 centimètres cubes de la liqueur primitive : cette solution est réduite, par l'évaporation, à un volume d'environ 100 centimètres cubes. On ajoute de la potasse caustique qui précipite d'abord le fer et l'alumine et lorsque cette potasse est en excès, l'alumine disparaît; on maintient le mélange pendant dix minutes à une température voisine de l'ébullition. Le précipité est lavé cinq ou six fois à l'eau bouillante par décantation, puis jeté sur un filtre.

On reprend ce précipité par l'acide chlorhydrique étendu et l'on recommence une nouvelle précipitation par un excès de

potasse. Après lavage et filtration on reprend encore par l'acide chlorhydrique et cette fois, on précipite le fer par l'ammoniaque. Le précipité est jeté sur un filtre, lavé, calciné et pesé. On obtient ainsi le poids de sesquioxyde de fer.

Proportionnellement, on retranche du poids des deux oxydes obtenus dans les opérations précédentes le poids du sesquioxyde ferrique et la différence fournit le poids de l'alumine.

Dosage de la soude. — Cette méthode de dosage est basée sur ce que l'azotate d'aluminium se décompose par la chaleur en fournissant de l'alumine à une température inférieure à celle de la décomposition de l'azotate de sodium; on prend 5 grammes d'aluminium en limaille ou en lames, on les attaque dans un vase conique par l'acide azotique étendu de son volume d'eau et à une douce température. L'attaque ne se fait pas à froid, mais il faut élever la température avec précaution, car la chaleur dégagée par la réaction peut être assez grande pour occasionner un dégagement gazeux très violent. La solution est concentrée dans une capsule de platine au bain-marie, puis évaporée à sec au bain de sable ou à feu nu. Le résidu est amené à l'état pulvérulent au moyen d'un pilon d'agate.

On chauffe ensuite à une température qui est inférieure au point de fusion de l'azotate de sodium et jusqu'à ce que tout dégagement de vapeurs nitreuses ait cessé. On reprend ensuite par l'eau bouillante, on décante le liquide et on recommence trois fois le lavage de l'aluminium. On lave en même temps le pilon et la capsule et toutes les eaux de lavage additionnées de quelques gouttes d'acide azotique sont évaporées à sec.

On reprend trois fois par l'eau bouillante de façon à éliminer chaque fois une nouvelle quantité d'alumine qui se trouvait mélangée à l'azotate alcalin.

Finalement, on reprend par l'eau bouillante, on évapore, on filtre, on additionne le liquide d'un léger excès d'acide chlorhydrique pur et on l'évapore dans une capsule de platine. On chauffe à 300° pour chasser tout excès d'acide chlorhydrique pur et le chlorure de sodium restant est dosé sous forme de chlorure d'argent.

Dosage du carbone. — On prend 2 grammes du métal

sous forme de copeaux et on les met en digestion avec une solution de bichlorure de mercure; le résidu est placé dans une nacelle portée au rouge et chauffée dans un courant d'hydrogène pur. Cette nacelle est ensuite placée dans un tube en verre de Bohême, traversé par un courant d'oxygène bien exempt d'acide carbonique et chauffé au rouge.

Le courant gazeux d'acide carbonique formé traverse un tube de Liébig contenant une solution de potasse. L'augmentation de poids de ce tube donne en acide carbonique la quantité de carbone contenu dans l'aluminium.

Dosage de l'alumine préexistante.— On pèse 50 centigrammes de l'aluminium à analyser; on met cet échantillon, qui a été préalablement coupé en fins copeaux, dans une nacelle en porcelaine tarée. On introduit cette nacelle dans un tube en porcelaine dans lequel on peut faire passer un courant de chlore. On porte le tube de porcelaine au rouge et on fait passer le courant de gaz. L'aluminium et toutes les impuretés autres que l'alumine préexistante sont entraînés à l'état de chlorures ou détruits.

Après l'opération, on laisse refroidir, on retire la nacelle qu'on pèse et dont l'augmentation de poids indique le poids de l'alumine préexistante.

2° *Alliage de cuivre et d'aluminium.*

Dosage du cuivre. — Lorsque l'alliage renferme jusqu'à 6 0/0 de cuivre, on dissout 500 milligrammes de métal par l'acide nitrique bien exempt de chlore ; on étend cette solution de façon à occuper un volume de 50 centimètres cubes et le dosage se fait par la méthode électrolytique due à M. Lecoq de Boisbaudran, en prenant le dispositif de M. Riche. L'intensité du courant employé est de 0,1 ampère; l'opération dure six heures si elle est faite à 60°, vingt-quatre heures si elle est faite à froid. Lorsque l'électrolyse est terminée, le cuivre, après avoir été lavé et séché, est pesé à l'état métallique.

Dosage du silicium, de l'aluminium et du fer. — Le cuivre étant éliminé à l'état de sulfure par l'hydrogène sulfuré, on

dose l'alumine, le fer et le silicium, ainsi qu'il a été indiqué précédemment.

Résultats d'analyses comparées faites au laboratoire de M. Moissan sur des échantillons de Pittsburg (1898) et de Neuhausen (1896).

PITTSBURG :		NEUHAUSEN : (bidon fabriqué à Karlsruhe.)	
Aluminium	98,82	Aluminium	96,12
Fer	0,27	Fer	1,08
Silicium	0,15	Silicium	1,94
Cuivre	0,35	Carbone	0,30
Sodium	0,10		
Carbone	0,41		
Azote	Traces		
Titane	Traces		
Soufre	Néant		

(Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

§ 3. — Autre méthode plus expéditive.

Concurremment à cette méthode, et grâce à la collaboration du regretté Pringault, habile chimiste qui s'était spécialisé dans les analyses de minerais de manganèse de l'île de Milo (Grèce), nous nous sommes arrêté à la marche suivante :

Attaque du minerai. — Comme dans le procédé de M. Moissan.

Dosage du fer. — La solution primitive d'aluminium dans l'acide HCl au 1/10, après séparation de la silice, est étendue d'eau de façon à former 500 centimètres cubes. On prend 25 centimètres cubes de cette solution, correspondant à 150 milligrammes l'aluminium : on neutralise à froid par l'ammoniaque sans excès et l'on précipite le fer et l'alumine par le sufhydrate d'ammoniaque.

On lave bien le précipité par décantation à l'eau distillée, on le redissout par SO^4H^2 étendu et on évapore de façon à obtenir du sulfate ferreux en solution, propre au dosage volumétrique.

Dosage de l'aluminium. — Pour éviter la séparation des oxydes de fer et alumine par la potasse, ce qui exige 5 ou 6 lavages au moins, la redissolution de l'hydrate d'oxyde d'alumine dans la potasse, enfin, une nouvelle redissolution dans l'acide chlorhydrique et la précipitation par l'ammoniaque, nous employions le procédé Chancel, modifié par Carnot, adopté par Jungfleisch et autres chimistes, déjà résumé ci-dessus et considéré comme pratiquement préférable à ceux de Frésénius, Rose, Redot, etc.

Nous opérions généralement (1) sur une partie de la solution chlorhydrique étendue correspondant à 0,30 du métal, diluée avec de l'eau pour qu'il n'y ait pas plus de 1 décigramme par 100 centimètres cubes; ce qui fait 300 centimètres cubes de liquide ; on ajoute de l'ammoniaque pour saturer la majeure partie de l'acide libre, puis du carbonate de soude, jusqu'à ce qu'il se produise (quand il y a du fer, bien entendu) un léger changement de teinte qui se constate, soit en surveillant attentivement le précipité qui peut se former à saturation, soit en employant la phtaléine du phénol qui ne doit pas donner la coloration rose des alcalins; puis est ajoutée la dissolution d'hyposulfite de soude qu'on mélange rapidement par agitation jusqu'à apparition de la coloration violette due à l'acide hyposulfurique en liberté, suivie d'une décoloration complète indiquant la réduction du fer. A ce moment, nouvelle addition d'hyposulfite de soude et d'acétate de soude à raison de 5 grammes de chaque, ainsi que quelques centimètres cubes d'une solution saturée de phosphate de soude.

Pour le reste de l'opération, les choses se passent absolument comme dans le procédé Chancel, modifié par Carnot.

Dosage du fer. — Le fer peut être toujours dosé par la méthode volumétrique (lorsqu'il s'agit de proportions appréciables) avec la dissolution de permanganate de potasse à $5^{gr},643$ par litre, 1 gramme correspondant à 0,01 de fer, et qui n'exige guère qu'une demi-heure au lieu d'une journée complète au moins pour l'ensemble des opérations ci-dessus.

---

(1) Assisté de M. le pharmacien-major Pauleau, à sa rentrée de l'expédition de Madagascar où il avait pu observer le nouveau matériel de campement.

Il peut l'être également par l'ammoniaque après oxydation par l'acide azotique, comme nous l'avons dit ci-dessus et de la moyenne des deux titrages pourra résulter le pourcentage.

L'ensemble de ces opérations peut être contrôlé par le total : oxydes de fer et d'alumine obtenu comme dans le procédé Moissan ou par les méthodes classiques (neutralisation de la liqueur acide par l'ammoniaque, précipitation des acides par le sulfhydrate d'ammoniaque récemment préparé, lavage, dessiccation, etc.).

Dosage du carbone. — Comme dans le procédé Moissan.

Dosage du sodium. — Comme dans le procédé Moissan.

Dosage de l'alumine restant incorporée dans le métal. — Comme dans le procédé Moissan.

Dosage du titane. — Pour ce dosage qui s'applique surtout au métal de provenance américaine, on pèse 2 grammes du métal que l'on traite par l'HCl étendu au 1/10. On lave le résidu de silicium, alumine, fer et titane ; on le dessèche à l'étuve et on le traite par les deux carbonates alcalins comme pour la silice : quand le creuset est froid, on le met dans une capsule de porcelaine et on dissout le tout par l'eau acidifiée par l'acide sulfurique pur. On chauffe vers 40° centigrades jusqu'à dissolution complète et on sépare la silice, le carbone, etc. ; on lave ensuite à l'eau bouillante ; dans la liqueur filtrée, on verse environ 10 grammes de bisulfite de potasse, on ajoute un léger excès de SO^4H^2 ; on réduit le fer au minimum par une addition d'acide sulfureux et on chauffe doucement à l'ébullition ; le titane se sépare à l'état de sulfure qui, par la calcination, devient de l'acide titanique :

$$TiO^2 \begin{cases} \text{Titane} & 60,29. \\ \text{Oxygène} & 39,71. \end{cases}$$

Dosage du cuivre. — En dehors de l'électrolyse par la pile Chenet qui précipite le cuivre, on peut employer avec succès le procédé Riche ; on opère sur 2 grammes d'aluminium dissous à chaud dans l'acide chlorhydrique étendu ; après filtration et

lavage, le liquide une fois refroidi est porté à 100 centimètres cubes.

On prend ensuite 25 centimètres cubes de la solution cuivrique et on y ajoute un excès de solution saturée à froid d'oxalate d'ammoniaque; en opérant à froid, la réduction de $0^{gr},150$ exige environ 12 heures.

Pour reconnaître la fin de la réaction on emploie une solution fraîchement préparée de ferro-cyanure de potassium.

Dosage du zinc. — Pour doser le zinc, on prend 50 centimètres cubes de la liqueur primitive, après séparation de la silice, correspondant à $0^{gr},300$ d'Al. On traite la solution par du carbonate de sodium; on obtient un précipité blanc d'hydrocarbonate de zinc qu'on peut séparer par filtration, laver et sécher.

On a alors à calculer sur le poids d'un carbonate de la formule:

$$ZnO\,CO^2$$

Zn	52,38
O	12,70
CO^2	34,92
	100,00

Dosage du plomb. — Pour doser le plomb, on prend 50 centimètres cubes de la liqueur correspondant à $0^{gr},300$ d'Al. On traite la solution par 2 ou 3 centimètres cubes d'acide sulfurique; on laisse digérer vingt-quatre heures et le plomb, s'il y en a, se dépose à l'état de sulfate que l'on filtre et que l'on traite comme dans la recherche de son dosage dans l'étain, pour la calcination et le coefficient pour traduire en plomb métallique.

D'autres méthodes comme celles employées au laboratoire du Comité d'Artillerie, dirigé par M. le Capitaine Ducru, exigeant une installation toute spéciale, et n'ayant pas été publiées, à notre connaissance du moins, nous ne nous y arrêterons pas.

Il en est de même pour l'essai préliminaire qui consiste en quelque sorte à lire les matières étrangères incorporées dans l'aluminium, à l'aide des rayons Roentgen et pouvant, concur-

remment avec les réactions micro-chimiques, mettre sur la trace des additions ou impuretés.

§ 4. — Analyse des alliages.

En dehors des méthodes générales d'analyse d'aluminium données ci-dessus, il en est d'autres plus spéciales aux alliages, à savoir :

1° Méthode extraite de la revue spéciale « Aluminium and Electrolysis ».— Pour évaluer le cuivre, le fer, le nickel et le plomb, 5 à 10 grammes de tournure d'aluminium sont dissous en les faisant chauffer dans une solution de soude caustique au 1/3 pendant vingt minutes environ.

Le liquide est filtré et le dépôt après avoir été lavé à l'eau bouillante, dissous dans de l'acide nitrique dilué, concentré par évaporation à l'état de sirop mélé à 2 centimètres cubes d'acide nitrique, est traité par l'électrolyse à 50 ou 60 0/0 avec le courant fourni par trois ou quatre piles Leclanché.

L'opération a lieu dans un creuset en platine servant de cathodes.

Tout le cuivre est précipité sur l'électrode négative, à l'état métallique en deux ou trois heures, et le plomb se dépose sur l'électrode positive sous forme de péroxyde. Le filtrage et les eaux de lavage sont chauffés avec un excédent d'ammoniaque qui précipite le fer et maintient le nickel dans la solution.

2° Méthode d'essai rapide de M. Balland, pharmacien principal de 1re classe, chef du laboratoire du Comité de l'Intendance (extrait de la *Revue de l'Intendance*).

a) Analyse d'aluminium non allié. — Quoique dans la pensée de l'auteur il s'agisse surtout d'une méthode rapide, en vue des réactions d'objets confectionnés, par exemple, on verra que le cuivre y est assez élégamment dosé.

On met dans une fiole d'attaque 0gr,5 du métal coupé en morceaux menus, on ajoute 50 centimètres cubes d'eau distillée et 10 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur. L'action ne tarde pas à se manifester et à s'affirmer de plus en plus,

à mesure que la liqueur s'échauffe. Dès que le dégagement de gaz commence à se ralentir, on porte la fiole à l'étuve, à une température inférieure à 100°, et on ne la retire que lorsque tout dégagement a cessé. Dans ces conditions, le silicium, le carbone et le cuivre ne sont pas attaqués; ils sont recueillis sur filtre, lavés et pesés après calcination.

Pour doser le fer, on ajoute à la moitié de la liqueur filtrée, comprenant les eaux de lavage, un excès de potasse à 10 0/0 suffisant pour dissoudre l'alumine et on laisse à l'étuve pendant une demi-heure. On rassemble sur un petit filtre sans plis le dépôt ocracé qui s'est formé au fond du vase; on lave à l'eau distillée chaude, on verse sur le filtre quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur à 5 0/0, de façon à dissoudre entièrement le contenu. On recueille à part la liqueur acide qui a traversé le filtre; puis comme précédemment, on ajoute un excès de potasse, on met à l'étuve, et lorsque le dépôt d'oxyde de fer, ainsi exempt d'alumine, s'est bien rassemblé, on le sépare par le filtre, on lave pour enlever toutes traces de potasse et on pèse, après calcination, sur une lamelle de platine préalablement tarée.

Dans l'autre moitié de la liqueur primitive, on dose à la fois l'aluminium et le fer, suivant les indications classiques, en ajoutant à chaud un léger excès d'ammoniaque pure. En retranchant du poids trouvé le poids de l'oxyde de fer obtenu plus haut, on a le poids de l'alumine seule et, par le calcul, la proportion d'aluminium pur.

b) Aluminium allié au cuivre. — On met dans 2 fioles d'attaque $0^{gr},5$ du métal coupé en morceaux, on y ajoute 50 centimètres cubes d'eau distillée et seulement 5 centimètres cubes d'acide chlorhydrique pur. L'attaque se produit plus rapidement qu'avec l'aluminium seul.

Quand le dégagement de gaz commence à se ralentir, on porte les fioles à l'étuve, à une température inférieure à 100 degrés, et on les retire lorsqu'on ne voit plus les bulles gazeuses.

Les opérations durent moins d'une heure.

Le cuivre reste absolument intact sous la forme d'un amas rougeâtre, spongieux. On verse sur un filtre sans plis, le con-

tenu de l'une des fioles, on lave le dépôt à l'eau distillée chaude, on calcine et on pèse.

Dans la liqueur filtrée, on dose comme ci-dessus le fer et l'aluminium.

L'autre fiole permet de s'assurer s'il y a du silicium ou du carbone. A cet effet, on ajoute 25 à 30 gouttes d'acide nitrique pur et on chauffe modérément à feu nu. En quelques minutes, tout le cuivre disparaît et il ne reste que le silicium et le carbone que l'on peut recueillir sur filtre et peser après lavage et calcination.

De tout ce qui précède, nous croyons pouvoir conclure que la méthode la plus simple, la plus pratique et la plus rapide à la fois (1) serait la méthode volumétrique consistant à isoler l'aluminium à l'état de phosphate, le fer étant maintenu au minimum pour être dosé volumétriquement, puis : le cuivre par l'électrolyse, le nickel, le titane (rare en France), le zinc, le plomb, par les procédés ordinaires.

Au reste, le moment semble proche où les essais plus heureux des industriels et commerçants, ne portant plus guère, pour plusieurs raisons, dont la baisse de prix de l'aluminium, que sur certaines combinaisons bien définies, il n'y aura plus qu'à rechercher certaines impuretés. D'où : plus grande facilité pour les analyses, dans lesquelles il suffira sans nul doute de doser les corps étrangers sans se soucier de l'aluminium, comme cela se fait pour les métaux en général et les aciers en particulier. Il faudra cependant compléter l'analyse par le dosage de l'alumine de réoxydation, dont l'importance sera toujours de premier ordre, à cause de l'influence fâcheuse que cet oxyde exerce sur les qualités du métal.

Nous terminerons ce chapitre par une indication intéressante sous le rapport d'une appréciation sommaire du plus ou moins de pureté du métal, à savoir que : plus le titre du métal est élevé, plus l'attaque par l'acide chlorhydrique est lente et inversement.

De même, pour les alliages, où il est à remarquer que l'ac-

---

(1) Celle de M. Moissan comptant toujours parmi les plus exactes.

tion est d'autant plus vive que les métaux incorporés à l'aluminium sont plus rapprochés dans l'échelle de la pile : zinc, étain, fer, par exemple, et plus lente avec les autres, comme le cuivre, le nickel, le chrome.

Ces faits, résultant de nos analyses de nombreux échantillons de métal, sont au reste en harmonie avec les constatations relevées au cours de nos expériences sur divers spécimens d'aluminium à composition centésimale variable et d'après lesquelles les altérations au contact des liquides usuels, sont en rapport inverse du degré de pureté.

Ils établissent bien que, contrairement à certaines théories, l'aluminium est un corps simple, soumis aux lois qui régissent les métaux et non un corps complexe comme cela a pu être énoncé. Certains esprits frappés de voir des combinaisons, dont l'élément dominant était l'aluminium, décomposer l'eau à la température ordinaire n'avaient pu, en effet, se rendre compte que cela était dû exclusivement aux éléments étrangers qui, au contact de l'eau, donnent naissance à des actions galvaniques ou électro-chimiques.

CHAPITRE IX

Propriétés de l'Aluminium.

On a vu que la production se résume pour ainsi dire actuellement en l'exploitation de deux procédés, tous deux électrolytiques, basés sur les mêmes principes et présentant seulement quelques légères différences dans le *modus faciendi*. Mais les qualités du métal varient suivant l'origine, et les marques françaises et américaines sont considérées comme atteignant le plus haut degré de pureté au titre de 990 à 995 millièmes.

Pour établir un lien de comparaison avec le métal obtenu par les anciens procédés de laboratoire, ce chapitre sera divisé en deux paragraphes distincts: l'un se rapportant à l'aluminium chimiquement pur, non pas seulement comme l'avait obtenu Sainte-Claire Deville, mais comme le donne l'affinage, en Russie principalement, et l'autre relatif au métal résultant de la production industrielle.

Nous considérerons comme aluminium pur celui ne contenant que 0,4 à 0,5 d'impureté, soit à peine 0,1 de fer ; pas la moindre trace de sodium. Quant au silicium, nous pensons qu'on en peut tolérer des traces sensibles.

Nous ne nous arrêterons pas aux saumons inférieurs contenant des proportions plus fortes de fer par exemple, et utilisés dans les aciéries où l'inconvénient résultant de la présence du fer est pratiquement négligeable.

§ 1. — Propriétés mécaniques, physiques et chimiques de l'Aluminium pur.

(Produit de laboratoire ou résultant d'un affinage spécial.)

Les indications contenues dans ce paragraphe sont empruntées aux auteurs, Würtz en particulier, et sont complétées par les résultats des recherches auxquelles nous nous sommes livré sur un métal ayant servi à confectionner des fers à cheval en Russie et ne contenant que des traces indosables de fer et de silicium, sans carbone, sodium et autres impuretés.

Propriétés physiques. — L'aluminium est un métal blanc comme de l'argent, tirant légèrement sur le bleu et se classant par de nombreux caractères entre le cuivre et le fer d'une part, le zinc et l'étain d'autre part. Son poids atomique est de 27,4 à 27,5 et il a une densité de 2,56 à 2,67 (martelé). Cette densité est donc trois fois plus faible que la moyenne de celle des métaux usuels.

Très bon conducteur de la chaleur, sa chaleur spécifique est diversement fixée à :

0,2145	Regnault.
0,2020	Kopp.
0,2183	Margottet.

D'après les expériences de Pionchon, elle varie notablement avec la température et prend les valeurs suivantes :

A 0°	0,2030
A 550°	0,2890

En regard de cette chaleur spécifique supérieure, le poids atomique et le pouvoir émissif sont plus faibles que ceux des autres métaux, d'où il résulte un échauffement plus rapide et un refroidissement beaucoup plus lent : propriété très importante en vue des usages culinaires et surtout pour l'alimentation des troupes en campagne.

La sonorité est telle que, en lingots suspendus à un fil, il rend à la suite d'un choc un son prolongé comparable à celui du cristal.

Le point de fusion est d'environ 700°; intercalé entre celui de l'argent et du zinc, il n'exclut pas la fixité aux températures ordinaires.

On coule l'aluminium avec la plus grande facilité dans les moules métalliques et encore mieux dans le sable pour les objets de forme compliquée.

Légèrement magnétique, sa conductibilité électrique est comparable à celle de l'argent et huit fois plus forte que celle du fer. A poids égal, elle est double de celle du cuivre.

On admet généralement que la conductibilité électrique et la conductibilité calorifique des métaux ont entre elles d'étroites relations.

Une expérience très simple de Faraday semble, en effet, devoir assigner à l'aluminium un rang très élevé parmi les métaux conducteurs.

Si on chauffe un fil de cuivre, un fil d'argent et un fil d'aluminium qui viennent se croiser en un point, en ayant soin de porter uniquement sur ce point l'action de la chaleur, on pourra, en mettant une petite balle de cire à égale distance de ce centre, déterminer le rang de ces trois métaux dans l'échelle de conductibilité, en notant le moment où la balle de cire se détache en fondant du fil métallique qui la soutient. On constate que la balle de cire du fil d'aluminium fond la première, puis celle du fil d'argent, et enfin, la dernière, celle du fil de cuivre. Ces métaux sont ainsi classés, grossièrement il est vrai, par rapport à leur conductibilité pour la chaleur.

D'après les expériences de Regnault, la chaleur spécifique de l'aluminium correspond à son équivalent 13,75, d'où l'on conclut qu'elle est très grande par rapport à tous les métaux usuels.

Une expérience rend frappante cette conclusion.

P. Morin avait eu l'idée d'employer l'aluminium comme plat pour faire cuire les œufs dont le soufre attaque si facilement l'argent, et il obtint d'excellents résultats. Mais il remarqua, de plus, que le plat se maintenait chaud pendant un temps bien plus long que d'habitude.

L'aluminium est absolument fixe et ne perd aucune partie de son poids lorsqu'il est violemment chauffé au feu de forge dans un creuset de charbon.

Propriétés mécaniques. — Sa résistance mécanique (de 12 kilogrammes environ) peut atteindre, lorsqu'il est forgé à froid, le chiffre de 20 kilogrammes par millimètre carré.

L'allongement qu'augmentent les recuits permet de le travailler avec la plus grande facilité, au point que l'on peut, par simple emboutissage, obtenir des pièces de dimensions beaucoup plus grandes qu'avec les divers métaux.

Il se forge et se lamine avec une grande facilité, surtout après avoir été forgé dans tous les sens ; il est malléable, au point de pouvoir être divisé en feuilles aussi minces que celles d'or ou d'argent, pour la dorure ou l'argenterie.

Son élasticité et sa ténacité sont à peu près les mêmes que celles de l'argent ; elles se développent par l'écrouissage (1).

Sa sonorité est considérable et comparable à celle du cristal.

Sa conductibilité pour la chaleur le place au premier rang des métaux. Sa chaleur spécifique est très grande par rapport à tous les métaux usuels. Le pouvoir émissif est très faible.

Sa conductibilité électrique le rapproche du cuivre : plus faible à volume égal, mais plus élevée en tenant compte des densités relatives.

L'aluminium peut être tourné, coulé dans certaines conditions, forgé, laminé ; il donne, dans ce cas, la texture fibreuse ci-contre (fig. 16), selon une coupe que nous avons examinée au microscope après martelage. Il peut être également soudé à l'aide d'alliages et fondants, étamé, nickelé, doré, argenté, bruni, coloré, enfin allié, sans augmentation sensible de poids, à des pourcentages de cuivre, nickel, étain, zinc, au titane, tungstène, cadmium, etc.

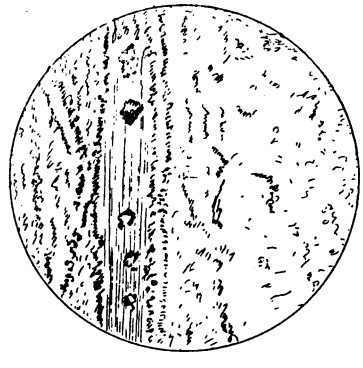


FIG. 16.

(1) D'après le *Berg und Huttermann Zeitung*, la ténacité des barres d'aluminium fondu d'un 9e à un 6e de pouce carré de section, serait de 12500 livres, et du même, martelé à froid, de 25100 livres par pouce carré.

D'autre part, Platon donne dans le *Marine Engineering* une résistance extensible de 8 tonnes par pouce carré et constate que la ténacité du métal, après avoir été traité comme ci-dessus, peut être accrue de 7 tonnes à environ 12 tonnes par pouce carré.

Par contre, il s'allie difficilement avec le carbone, tout au moins aux températures usuelles, car dans certaines conditions, il est susceptible de fournir un carbure défini et cristallisé de formule C^3Al^4.

On peut facilement polir l'aluminium comme l'acier, le cuivre, le nickel, et le limer dans une solution de potasse caustique, comme pour les autres métaux ; cette action des alcalins, combinée avec le bain complémentaire à l'acide sulfurique ou azotique pour enlever l'excès de potasse, sert de base au décapage, à condition, toutefois, que dans ce cas particulier, ces acides ne soient pas additionnés d'acide chlorhydrique qui, comme on le verra, est le vrai dissolvant de l'aluminium attaqué assez vivement d'autre part par les composés chlorés en général.

De plus, quelques précautions sont de rigueur pendant le traitement aux alcalins concentrés qu'il faut éviter de laisser en contact prolongé au delà de 1 à 2 minutes, surtout dans les objets destinés à être bouchés, comme les gourdes, et qui demandent à être *soigneusement rincés à l'eau claire*, après le double traitement à la potasse et aux acides.

Action de l'air. — L'air sec, humide, à l'exception de l'atmosphère marine, n'a aucune action sur l'aluminium pur : c'est là une des propriétés les plus caractéristiques de ce métal dont l'affinité pour l'oxygène et la stabilité des composés sont cependant considérables.

Il est, en effet, déjà admis, industriellement parlant, que l'aluminium ne se rouille pas, ne produit pas de vert-de-gris, et ne donne pas de compositions chimiques nuisibles à la santé.

Il peut, à la longue, se recouvrir à l'air, d'une pellicule oxydée insoluble qui le soustrait non seulement à l'action de l'oxygène, mais encore de plusieurs réactifs, comme cela se produit sur le fer lorsqu'il est recouvert d'une couche d'oxyde magnétique.

A la température de fusion, au contraire, l'oxygène s'unit avec lui facilement en produisant Al^2O^3, de sorte que, pendant la fonte, il faut tenir le métal couvert de charbon ou de cryolithe fortement calcinée, pour absorber l'oxyde qui pourrait se former, et protéger en même temps la surface. Il remplit bien les moules, et lorsqu'on a pris les soins convenables, donne de bonnes fontes dans des moules de fer ou de sable. Toutefois, s'il

absorbe de l'oxygène ou se trouve allié avec des traces de silice, il devient gris et cassant. Pour cette raison, on revêt l'intérieur des creusets employés de charbon ou de cryolithe calcinée.

Cette facilité d'oxydation à chaud, très appréciée pour empêcher les soufflures dans les aciéries, nuit malheureusement à la soudure autogène et gêne beaucoup l'adhérence des dépôts galvaniques.

L'eau, H. Sainte-Claire Deville l'a constaté, n'a aucune action sur l'aluminium, ni à la température ordinaire, ni à celle de l'ébullition de l'eau, ni même à la température rouge, voisine du point de fusion du métal.

Deville a constaté qu'un fil en aluminium pesant plusieurs milligrammes et laissé plus d'une demi-heure dans l'*eau bouillante* contenue dans un vase de verre, n'a pas eu sa surface ternie.

L'eau n'avait pas perdu de sa limpidité et le poids du fil n'avait pas changé.

Le même fil d'aluminium introduit dans un tube de verre chauffé *au rouge* au moyen d'une lampe à alcool et traversé par un courant de vapeur surchauffée, ne subit aucune altération, ni dans son éclat, ni dans son poids.

Suivant l'observation de Deville, pour obtenir une action sensible *au blanc*, il faut opérer à la température la plus élevée que l'on puisse obtenir dans un fourneau à réverbère, surmonté d'un tuyau de tôle d'un mètre environ de longueur.

Même alors l'oxydation est si faible qu'elle ne se développe que par places en produisant des quantités presque négligeables d'alumine blanche.

L'acide sulfurique étendu d'eau dans les proportions les plus convenables pour attaquer les métaux qui décomposent l'eau, n'exerce pas d'action appréciable sur l'aluminium.

H. Sainte-Claire Deville ayant laissé pendant plusieurs mois un globule d'aluminium pesant à peine quelques milligrammes au contact de l'acide sulfurique faible, a constaté que le métal ne subissait pas d'altération visible; cependant, la solution acide précipitait ensuite légèrement par l'ammoniaque.

L'acide nitrique faible ou concentré, n'agit pas à la température ordinaire sur l'aluminium.

Dans l'acide bouillant, la solution s'effectue avec une lenteur telle que Deville a dû renoncer à ce mode d'attaque dans les analyses. C'est pour avoir observé cette inertie de l'aluminium en présence de l'acide nitrique, qu'il avait proposé de substituer ce métal au platine dans la pile de Grove.

Hient et Langlery (*Journal of Chimist Industry*, juillet 1890) arrivent aux mêmes conclusions, à condition que les acides soient exempts d'acide chlorydrique. F. Gauthier et Talansier (*Génie Civil*, 1890) déclarent que l'aluminium résiste à froid et à la température ordinaire aux acides sulfurique et azotique.

Par contre, M. Le Roy, chimiste des Établissements Malétra (*Bulletin de la Société Industrielle de Rouen*), voulant rechercher l'utilisation du nouveau métal dans les industries chimiques, a coustaté, sur les échantillons expérimentés, des pertes variant de 25,60 à 25,80 et plus par mètre carré, après un contact de douze heures avec l'acide sulfurique pur et ordinaire de 30 à 66° Beaumé, et 14 à 20,50 et plus par mètre carré, après un contact de douze heures avec l'acide azotique pur et ordinaire de 36 à 40° Beaumé.

Cette divergence d'appréciation, comme nous le verrons plus tard, provient simplement du titre de pureté du métal expérimenté, et, étant données d'une part les difficultés inhérentes au dosage de l'aluminium du commerce, d'autre part l'impossibilité matérielle où se trouvait l'industrie, de fournir à cette époque (1891) un métal à 99,5 0/0 d'aluminium, titre admis cependant comme exact par l'auteur. Nous n'hésitons pas à penser que la religion de M. Le Roy a été surprise et qu'il a dû nécessairement opérer sur un métal impur, ne jouissant plus de l'immunité de l'aluminium débarrassé de traces de fer, zinc, étain, etc. en présence des acides ci-dessus.

L'acide sulfurique et l'acide azotique étendus ou concentrés, n'ont ni l'un ni l'autre aucune action sur l'aluminium (Roscoe : *Chemical News*, 14 juin 1889).

L'acide sulfurique et l'acide azotique sont sans action sur l'aluminium à froid et ne l'attaquent que difficilement à l'ébullition (A. Bernard : *Traité de Chimie appliquée à l'industrie*; Troost : *Traité de Chimie élémentaire*, 10° édition).

L'acide azotique, étendu ou concentré, employé à chaud ou à

froid, est sans action sur l'aluminium (Wagner : *Chimie industrielle*, trad. Gauthier).

L'acide chlorhydrique est le véritable dissolvant de l'aluminium. Toutefois, quand le métal est chimiquement pur, la réaction ne peut se faire qu'à chaud; à froid, elle est si lente que Fabre a dû renoncer à ce mode d'attaque, lorsqu'il a voulu déterminer la chaleur de formation du chlorure d'aluminium.

L'acide acétique étendu (degré de concentration du vinaigre ordinaire) agit sur l'aluminium à la manière de l'acide sulfurique, c'est-à-dire avec une extrême lenteur.

M. Paul Morin a laissé pendant très longtemps une plaque d'aluminium dans le *vin* qui contient de l'**acide tartrique** en excès (tartre) et de l'acide acétique. Il a remarqué que l'aluminium n'avait subi aucune altération.

Mêmes constatations sur le fer à cheval russe.

La potasse et la soude attaquant très énergiquement l'aluminium, il se produit un dégagement d'hydrogène et il se forme un aluminate; mais cette décomposition n'a lieu qu'autant que les alcalis sont en dissolution. L'aluminium, en effet, n'est pas attaqué par les alcalins fondus.

L'eau de chaux attaque également l'aluminium, mais l'aluminate formé est insoluble dans l'eau.

Les sels mercuriels attaquent vivement l'aluminium, avec formation de dépôt.

Chauffé au rouge avec un **carbonate alcalin**, l'aluminium s'oxyde aux dépens de l'acide carbonique, et il se forme de l'aluminate alcalin.

Une dissolution de **sel marin** ou de *chlorure de potassium* a une action d'ensemble sur l'aluminium.

Cela n'avait pas échappé à Sainte-Claire Deville et l'observation avait été confirmée par M. Weth, en collaboration avec M. André Le Châtelier.

Il en est de même des autres chlorures qui sont décomposés par l'aluminium avec une facilité d'autant plus grande que leur chaleur de formation est plus faible.

Le chlorure d'aluminium, lui-même, dissout l'aluminium en formant un sous-chlorure.

Le fluorure double d'aluminium et de sodium à l'état fondu agit de même et il se forme un sous-fluorure.

L'action d'un mélange d'acide acétique et de *sel marin* en dissolution dans l'eau est assez sensible; l'acide acétique déplace une faible quantité de chlore en décomposant le sel marin; le chlore devenu libre se décompose en acide chlorhydrique qui attaque l'aluminium.

D'après H. Sainte-Claire Deville, les propriétés ci-dessus constituaient une indication de premier ordre en vue de l'utilisation de l'aluminium dans la confection des ustensiles culinaires.

Il avait de plus observé :

1° Que l'étain, dont on se sert si souvent et qui chaque jour est mis en contact avec du vinaigre et du sel, s'attaquait beaucoup plus rapidement que de l'aluminium dans les mêmes circonstances;

2° Que, si l'on prend de l'étain laminé, du paillon d'étain, qu'on le fasse chauffer pendant quelques minutes dans une dissolution de sel marin additionnée d'acide acétique, on pourra constater, en décantant la liqueur claire et en la traitant par l'hydrogène sulfuré, qu'il s'est dissous des quantités considérables d'étain;

3° Que néanmoins et, quoique les sels d'étain aient un goût de poisson très prononcé, que leur action sur l'économie soit loin d'être négligeable, la présence de l'étain dans nos aliments passe inaperçue. Dans les mêmes circonstances, l'aluminium se dissoudra en moindre quantité; l'acétate d'alumine se résoudra, à l'ébullition, en alumine ou en sous-acétate insoluble, n'ayant pas plus de goût et plus d'action sur l'économie que l'argile elle-même. C'est pour cela, et parce qu'on sait, d'ailleurs, que les sels d'alumine n'ont aucune influence appréciable sur l'économie par leur base, que l'aluminium peut être considéré comme un métal d'une innocuité absolue.

Nous pouvons ajouter que l'étain présentant le grand inconvénient d'être excessivement malléable, avec un point de fusion très faible: 200 degrés environ, il en résulte des rainures dans

lesquelles s'incorporent les corps gras, donnant ainsi aux aliments l'odeur dite « de graillon ».

Aussi, la suppression des étamages et rétamages, opération des plus complexes, pour les ustensiles comportant des soudures et atteignant parfois, pour un seul rétamage, la moitié de la valeur réelle du matériel, doit-elle être considérée comme un des avantages les plus marqués de la substitution de l'aluminium à la tôle de fer-blanc étamé.

L'aluminium peut être fondu dans l'**azotate de potasse**, sans que les deux matières réagissent l'une sur l'autre jusqu'au rouge vif.

Si on pousse plus loin la chaleur, l'azotate et l'oxygène du nitre se dégagent vivement, et la potasse qui reste se combine avec l'aluminium transformé en alumine, pour produire de l'aluminate de potasse.

C'est en traitant par l'aluminium les **silicates** et les **borates** qu'on obtient le silicium et le bore.

L'aluminium ne s'altère pas lorsqu'on le chauffe au rouge au milieu de la vapeur de **soufre**. A une très haute température, l'aluminium, d'après Deville, se combinerait directement avec le soufre pour former un sulfure.

L'**hydrogène sulfuré** n'a aucune action, comme on le constate, en laissant l'aluminium en contact d'une dissolution de ce composé. On peut faire évaporer, sur une lame d'aluminium, du sulfhydrate d'ammoniaque qui ne laisse sur le métal qu'un dépôt de soufre disparaissant à la moindre chaleur.

Lorsque l'aluminium renferme du **silicium**, il dégage de l'**hydrogène silicié** par la dissolution dans l'acide chlorhydrique. Toutefois, la quantité de silicium qui disparaît de ce fait est inappréciable, ou du moins très faible.

La majeure partie du silicium reste à l'état graphitoïde comme résidu.

Les **matières animales** sécrétées et qui sont acides: la sueur, par exemple, n'ont aucune action sur l'aluminium. Par contre, les alcalins, comme la salive, ont une certaine tendance à l'altérer.

Les matières purulentes, en particulier, ne l'attaquent que légèrement.

Charrière, raconte H. Deville, avait fabriqué pour un malade auquel on avait pratiqué la trachéotomie, une canule en aluminium, très légère et, à cause de cela, très facile à porter.

Il s'était formé au bout de quelque temps une matière farineuse, blanche, en quantité presque impondérable, mais bien visible : c'était de l'alumine ; donc l'utilisation dans les appareils pour trachéotomie ou opérations analogues ne peut présenter aucun inconvénient pour le malade vu l'innocuité et l'insolubilité de la légère couche d'oxyde formé.

Telles sont les propriétés de l'aluminium, sinon chimiquement pur, tout au moins ne contenant que des traces de matières étrangères.

§ 2. — Propriétés de l'Aluminium industriel et commercial.

Les propriétés de l'aluminium chimiquement pur étant ainsi établies, nous allons passer au métal industriel plus ou moins pur, ou combiné à certains métaux de nature à donner naissance à des actions électro-chimiques, soit sous l'action de l'humidité et de l'acide carbonique de l'air, soit au contact de certains liquides plus ou moins acidulés.

H. Sainte-Claire Deville signalait déjà, et avait constaté que le métal contenant du fer ou du sodium donnait dans les sels de cuivre un dépôt de cuivre métallique, se produisant assez lentement, à vrai dire.

Avec une lame d'aluminium dans ces conditions on voit, au bout de quelques semaines, la texture du métal se dessiner nettement sous forme de fibres rouges ferrugineuses, semblant agir seules, comme si le fer et l'aluminium n'étaient que juxtaposés.

Il y a là, peut-être, un phénomène de passivité d'où résultent toutes les propriétés utiles de l'aluminium, et que l'action du temps détruit peu à peu au contact des dissolutions métalliques très conductrices.

D'après M. Hunt, directeur de la *Pittsburg reduction Company*, le métal industriel obtenu par les procédés Hall et Héroult, ne se ternit pas plus à l'air sec que l'aluminium pur de laboratoire ; il n'est pas attaqué par l'hydrogène sulfuré, et faiblement

par l'atmosphère humide, bien moins en tous cas que la plupart des métaux ; sa malléabilité est grande et il se prête facilement à la coulée.

Nous reproduirons ici, tout d'abord, sans commentaires, ses appréciations traduites de l'anglais grâce à l'obligeance de notre collaborateur et ami M. le pharmacien-major de 1re classe Rœser, actuellement attaché à la Légion de la Garde Républicaine. Elles sont cependant parfois complétées et rectifiées d'après les résultats de nos expériences personnelles.

Impuretés. — L'aluminium commercial contenait au début de l'industrie électrolytique de 4, 6 et 8 0/0 d'impuretés, qui modifiaient notablement les propriétés du métal. En 1891, il s'obtenait déjà aux Etats-Unis à 5 et 3 0/0 d'impuretés, chiffre ramené à 1,5 environ en 1895.

Les impuretés principales étant le silicium et le fer provenant de procédés encore défectueux, de précautions encore insuffisantes pendant la série des opérations, on peut, dit M. Hunt, espérer se débarrasser du silicium, et ne pas avoir plus de 0,1 0/0 de fer.

Le silicium s'y trouve sous deux formes : silicium combiné, comme dans la fonte, et silicium graphitoïde, ce qui donne à l'aluminium des propriétés différentes.

La forme combinée rend le métal plus dur que la forme graphitoïde. Le silicium combiné prédomine et représente 45 à 80 0/0 de la silice totale dans le métal produit à Pittsburg, dont la moyenne proportionnelle est de 98 à 99 0/0 de pureté.

Comme nous, M. Hunt a constaté que, pour certains usages, il est inutile d'avoir de l'aluminium très pur et déclare que l'on peut même, en certains cas, se contenter de celui de 3 ou 4 0/0 d'impuretés.

Il signale que quelques centièmes de certains éléments sont avantageusement ajoutés à l'aluminium pour lui donner de la dureté, de la rigidité et de la force ; et nous ne pouvons que compléter ces indications en spécifiant que ces éléments doivent être choisis parmi les métaux éloignés de l'aluminium dans l'échelle de la pile, et ne considérer actuellement comme métal industriel, en France, que celui qui correspond au titre de 990 à 995 millièmes au moins avant l'alliage.

Caractères physiques. — Couleur : blanc avec teinte bleue (1), devenant plus foncée par l'exposition à l'air et la formation d'une légère couche d'oxyde blanc à sa surface.

Aussi des cuillers et des fourchettes ayant servi un an et demi présentent-elles une teinte rappelant celle de l'étain ; cet oxyde, qui donne une teinte bleue, peut être enlevé par un lavage à l'aide d'une solution étendue d'acide fluorhydrique, suivi d'une friction à la peau de chamois.

On ne peut attendre de lui la teinte de l'argent ; mais l'addition du cuivre, qui rend l'argent jaune, ne produit pas cet effet sur l'aluminium ; il le rend plus blanc.

L'addition de quelques centièmes de chrome, wolfram, titane, manganèse, argent, agit sans aucun doute sur la couleur de l'aluminium en la rapprochant de celle de l'argent.

L'aluminium industriel fond à 722° ; il devient pâteux à 555° environ et perd beaucoup de sa résistance et de sa rigidité à la température de 222°. Cette perte de résistance n'a lieu que si l'on maintient le métal à cette haute température.

L'aluminium n'a pas encore pu être volatisé à une température fournie par la combustion du charbon; il absorbe une grande quantité de gaz dans ces circonstances ; mais à la haute température fournie par l'arc électrique, il se produit une volatilisation considérable, et quelques petits boutons de métal se retrouvent dans les parties refroidies du fourneau.

On n'est pas parvenu cependant à obtenir de l'aluminium complètement pur par le four électrique à cause de la production de Al^2O^3. Ce n'est qu'en protégeant le métal réduit avec un alliage de fer et de cuivre qu'on est parvenu à empêcher l'oxydation.

Nous verrons plus loin que le carbure de calcium peut, sans doute être utilisé dans cet ordre d'idées.

La chaleur spécifique de l'aluminium industriel est 0,2143.

Composition. — L'aluminium industriel obtenu en France, d'abord aussi impur que celui d'Amérique avant la découverte

---

(1) Pouvant prendre un très beau mat qui se conserve indéfiniment à l'air par un décapage dans la potasse ou la soude très diluée; et un contact passager suivi d'un lavage à grande eau et digestion dans l'acide nitrique fort *exempt de produits chlorés.*

des procédés électrolytiques Hall et Héroult, s'obtient couramment aujourd'hui au titre de 990 à 995 millièmes, ne contenant plus guère que deux à trois millièmes de fer, autant de silicium et des traces de sodium.

Propriétés mécaniques. — Laminé, martelé, écroui sous une forme quelconque, allié à des petites quantités de certains métaux comme le cuivre, le nickel, le manganèse, le chrôme, il peut arriver, sans que la densité soit considérablement augmentée, à une résistance à peu près égale à celle des laitons et maillechorts, tôles de fer et même d'acier doux et extra-doux.

Cassure ordinaire, cristaux hexagonaux; le métal poreux prend par l'écrouissage une apparence fibreuse et peut se rompre par des flexions répétées.

Pour être recuit il doit être chauffé à une température assez basse; celle où paraît rouge une pièce de fer ou d'acier vue à demi-jour dans le mouffle, alors que l'aluminium n'est pas rouge.

A cette température on le retire du fourneau et on refroidit graduellement. Des couches très minces peuvent être recuites dans l'eau bouillante et refroidies graduellement.

Le manque de dureté et de rigidité du métal constituerait un obstacle sérieux à son adoption dans maintes circonstances, si ces propriétés ne pouvaient être sensiblement accrues par les traitements métallurgiques : des martelages, laminages à froid, l'écrouissage en général, et l'addition quelques centièmes de corps étrangers.

Venant à côté des meilleurs fers pour la résistance mécanique, il occupe le 3e rang dans l'ordre de la malléabilité, après l'or et l'argent. Il occupe le 7e rang pour la ductilité, après l'or, l'argent, le platine, le fer, l'acier doux, le cuivre, et, ajouterons-nous, un des premiers à côté de l'argent pour la conductibilité par la chaleur, le classant, toutes choses égales d'ailleurs et tenant compte des densités relatives, le premier pour la conductibilité électrique, même avant le cuivre.

Ces deux propriétés sont faiblement modifiées par la présence des impuretés les plus connues, le fer et la silice.

L'aluminium peut être laminé même à froid; mais le métal est plus malléable entre 200° et 300° Fahrenheit (110° et 166° C.),

on a avantage à l'amener à cette température pour le laminer et l'étirer de ses lingots.

Par le travail, il gagne de la dureté et de la force de résistance, mais il perd de la malléabilité et de la conductibilité.

Passé à la filière, qui n'exige pas de recuits, il prend une force de tension plus grande que par le laminage.

Mais si l'écrouissage augmente sa dureté et sa force de résistance, par contre, la malléabilité et la conductibilité diminuent. Il demande à être fréquemment recuit, et si on le compare à l'acier doux laminé à froid, il a été trouvé pratique de donner à l'aluminium le même traitement dans chaque passe au laminoir qu'à cet acier, l'aluminium demandant en moyenne cinq recuits, là où l'acier n'en demande que trois.

En durcissant le métal par le laminage, l'écrouissage, le martelage, l'estampage, il devient rigide, et peut alors répondre à beaucoup de desiderata pour lesquels le métal recuit serait encore trop doux, trop faible ou manquant de rigidité. C'est surtout vrai pour les alliages d'aluminium avec quelques pourcentages de fer, cuivre ou autres métaux qui, fondus et recuits à diverses reprises, acquièrent de la dureté.

Le tableau comparatif suivant, fait ressortir le rapport entre l'aluminium et ses dérivés d'une part, le fer, le cuivre et certains de leurs composés d'autre part. (Général de D^on^ Peigné.)

10 kg,600	par millimètre carré pour le métal coulé,		
17 »	—	laminé,	
20 ,400	—	étiré,	
20 »	—	en barres,	
25 »	—	alliage à 3 0/0 de cuivre,	
38 ,600	—	alliage à 6 0/0 de cuivre,	
32 »	—	alliage à 15 0/0 de zinc.	

En regard de ces résistances, on peut obtenir des allongements de 12 à 16 0/0, celles des alliages suivants étant :

		kilogrammes
Maillechorts et laitons en général		30 à 40
Tôle de Fer	fine	35
	supérieure	32
	ordinaire	31
	commune	28

Acier	extra-doux	34	à 40
	doux	40	48
	demi-doux	48	54
	demi-dur	55	65
	dur	65	75
	extra-dur supérieur		75
Tôle d'acier de 3 millimètres à 10 millimètres d'épaisseur pour armes portatives.	extra-douce . de	35	à 43
	douce —	42	50
	demi-douce —	48	58
	demi-dure —	58	68

NOTA. — Les recuits diminuent sensiblement la résistance de l'aluminium au point qu'à 450° cette résistance du métal laminé et écroui ou martelé peut retomber à 14 kilogrammes. Par contre, l'allongement augmente par les recuits qu'il est bon de ne faire qu'à 200° au plus. M. Le Châtelier, ingénieur de la Marine, estime qu'en opérant méthodiquement, on peut arriver à obtenir par un recuit convenable, toutes les qualités mécaniques que l'on désire.

Conductibilité électrique. — Si l'on emprunte à Monmerqué (contrôle des installations électriques) les coefficients respectifs de résistivité à 0° pour le cuivre, l'aluminium et le fer, par exemple, l'unité étant le micro-ohm $\frac{1}{106}$, on a les chiffres suivants :

Cuivre recuit	$\rho = 1,584$
Aluminium	$\rho = 2,889$
Fer	$\rho = 9,636$

Et si l'on calcule les diamètres respectifs des fils de ces trois métaux, celui du cuivre étant de 10 millimètres, pour conserver la même résistance avec même perte de charge : $E = RI$, le rapport du coefficient de résistivité à la section exprimée en centimètres carrés restant le même, on arrive, pour une longueur de 200 mètres, par exemple, aux chiffres suivants :

$$\frac{1,584}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2} = \frac{2,889}{\pi \times \left(\frac{D'}{2}\right)^2} \quad \text{ou} \quad \frac{1,584}{D^2} = \frac{2,889}{D'^2}.$$

soit

$$D' = 13,48$$

pour l'aluminium et

$$D'' = 26,65$$

pour le fer.

D'autre part, si l'on prend pour poids spécifiques :

Cuivre	8,90
Aluminium	2,60
Fer	7,80

les poids respectifs sont

Cuivre $\frac{\pi D^2}{4} = 2\,000$ avec diamètre 10^{mm}	= 1 398
Aluminium	= 502
Fer.	= 7 382

et le prix à raison de :

Cuivre.	2 francs	le kilogramme
Aluminium. . . .	3 —	—
Fer (de choix) . .	50 centimes	—

serait :

Cuivre.	2 796 francs
Aluminium	1 506 —
Fer	3 691 —

Donc, les alliages légers d'aluminium à 6 0/0 de cuivre donnant une résistance de 38 kilogrammes contre 45 environ pour le bronze téléphonique, on voit que, dans l'état actuel, l'écart serait à peu près compensé par la différence de diamètre du fil de cuivre et du fil d'aluminium.

D'où encore, économie de poids et de dépense de près de moitié, *a priori*, du fait de l'emploi des bronzes légers d'aluminium.

C'est ce qu'on a compris aux États-Unis, ainsi que l'indique le compte rendu suivant, emprunté à *l'Étincelle électrique*. D'importantes installations viennent d'être faites avec des conducteurs en aluminium et, cela, à l'exclusion complète du cuivre :

1° dans l'État de Washington, où 7 500 k. w., empruntés aux chutes de Inoqualmie, sont transportés à 40 et 72 kilomètres sous forme de courants alternatifs triphasés à la tension initiale de 1 000 volts, puis élevée à 30 000 volts, par des fils d'aluminium d'un diamètre de 5,84 millimètres pour la première ligne et 6,6 millimètres pour la deuxième; 2° pour la transmission de l'énergie électrique des chutes du Blue-Lalees, soit 1 000 k. w. à une distance de 69 kilomètres, par des fils de 7,4 millimètres, ont toujours très bien fonctionné depuis leur installation et n'ont donné lieu à aucun phénomène anormal, si ce n'est une sonorité assez grande qui, dans le cas présent, ne saurait les gêner. On estime que, dans la pratique, la conductibilité de l'aluminium est de 60 0/0 de celle du cuivre pur de Mathiessen et, en regard de l'augmentation du prix de ce dernier métal, on estime que le moment est venu d'examiner sérieusement l'utilisation de l'aluminium dans les lignes aériennes.

Il est à noter que le nouveau métal étant très peu magnétique, cela constitue un avantage s'ajoutant à ceux résultant de la faible densité et de la conductibilité électrique, en vue de l'utilisation de la transmission du courant.

Action des agents atmosphériques. — A l'humidité seulement, surtout dans l'atmosphère saline, le métal se recouvre d'un léger revêtement d'oxyde sur la surface, lequel le protège de toute trace d'oxydation ultérieure : ce revêtement accroît la teinte bleutée du métal, lui donnant un peu l'aspect du plomb.

Comparé avec la plupart des métaux, l'aluminium pur résiste parfaitement et mieux que tous les métaux usuels à l'action du vent et de la pluie, des émanations de gaz sulfhydriques pouvant provenir de l'éclairage au gaz et même aux hautes températures.

La présence de traces de silice dans ce métal lui retire peu de son pouvoir de résistance aux agents atmosphériques. Mais avec 4 ou 5 0/0 de ce corps, il se revêt promptement d'une couche d'oxyde quand il est exposé à l'air. (Blunt.)

A l'état de fusion, le métal absorbe facilement le gaz et une portion notable de ces derniers reste occluse dans le métal

froid (1). En effet, dans le cas d'H^2S, la quantité absorbée est suffisante pour donner au métal l'odeur sulfhydrique.

Ce fait est un grand obstacle à l'application d'une méthode basée sur la réduction des sulfures d'aluminium, car H^2S qui se dégagerait imprégnerait le métal pendant et même après la fusion.

Nous complétons ces indications, empruntées en grande partie aux comptes rendus du directeur de la Pittsburg Reduction Company, par nos observations personnelles relatives à l'action des divers agents, préparations et liquides usuels.

L'air sec est sans action sur l'aluminium à toute température.

L'action de la chaleur et des grands froids ne semble pas modifier les qualités de l'aluminium.

C'est ainsi que, sous le rapport de la chaleur, des explorateurs au centre de l'Afrique ont pu, sans inconvénients, utiliser des objets divers, confectionnés avec ce métal, et nous avons pu personnellement constater le même fait sur les tôles des wagons du petit chemin de fer de Bayonne à Biarritz, application due à l'initiative du directeur Forsanz, et qui, sous l'action des chaleurs de l'été, n'ont subi qu'un léger gondolement tenant au coefficient de dilatation encore peu connu.

Il en est de même pour le froid. On rapporte, en effet, que l'explorateur Nansen, dans son voyage aux régions polaires, avait emporté divers objets en aluminium dont une lampe qui, tombée à l'eau, a dû à sa faible densité de pouvoir être sauvée.

Il est probable que ce métal entrait dans certaines parties de l'aérostat d'Andrée, comme aussi dans la composition des dirigeables essayés en France, en Allemagne et en Amérique.

L'oxygène électrisé n'attaque pas l'aluminium et cette importante propriété qu'a bien voulu nous confirmer le savant professeur Güntz, de la Faculté des Sciences de Nancy, dont la compétence en cette question est de premier ordre, semble

---

(1) C'est ainsi qu'ajouté au fer, à l'acier et au cuivre, il agit comme réducteur sur les composés oxygénés contenus dans ces métaux, tout en absorbant les bulles du gaz. Il faut cependant éviter d'ajouter une quantité plus grande d'alumine que celle nécessaire pour la réduction du protoxyde de fer, si on veut éviter la séparation du carbone sous forme de graphite. (Borchers.)

pouvoir être utilisée pratiquement pour la stérilisation de l'eau de consommation et autres applications de l'ozone.

L'eau de source, généralement peu minéralisée, telle qu'elle sort des terrains granitiques ou dolomitiques, exerce sur ce métal une action insignifiante, par exemple celle de la Savoureuse, à Belfort (terrains granitiques), ne contenant par litre que quelques centigrammes d'éléments minéraux, empruntés aux feldspath vosgiens principalement, l'attaque est insignifiante.

De même pour :

L'eau de l'Avre à Paris.

Carbonate de chaux. .	0gr 142	Attaque des points faibles : Après six mois, une plaque de 50 cm² d'aluminium à 98 0/0 de pureté (1gr de fer, 0.80 de silicium) et du poids de 735 grammes n'a perdu que quelques centigrammes sur toutes ses faces.
Sulfate de chaux. . .	0 009	
Sulfate de magnésie .	0 011	
Chlore.	0 007	
Acide nitrique. . . .	Traces	Une autre de 1 m² de métal à 97,5 0/0 de pureté a perdu 1 gramme seulement au bout d'une année.
Matières organiques (absorbent seulement 0mgr 4 d'oxygène du permanganate).		

L'eau de Seine (Choisy-le-Roi)

Carbonate de chaux. .	0gr 093	Eau et air.	Attaque faible, un peu plus marquée que par simple immersion.
Sulfate de chaux . . .	0 007		
Sulfate de magnésie. .	0 003		
Chlore.	0 008		
Ammoniaque libre . .	0 060		
Acide azotique	0 002	Eau distillée. . . .	Légère attaque.
Matières organiques absorbent	3mgr 50	Eau ozonisée. . . .	Attaque insignifiante.
Germes.	3 500 pr c. c.	Eau calcaire. . . .	Attaque appréciable.

Des bâtiments légers, démontables, construits sur l'initiative du lieutenant-colonel Monteil, du lieutenant de vaisseau Hourst, avec de l'aluminium provenant des usines de Froges, ont pu répondre aux espérances que les hardis explorateurs avaient mises en elles.

Le *J. Davoust* en particulier, embarcation construite avec de l'aluminium industriel au titre de 980 millièmes seulement, le plus élevé à l'époque ; allié à 3 0/0 de cuivre pour les tôles,

à 6 0/0 pour cornières, laminé aux forges de Sedan, a pu redescendre après la traversée de France en Afrique et le transport de la côte à Kabara, 3 500 kilomètres du Niger, y compris des rapides de 10 mètres, sans que les tôles fussent abîmées, à part quelques déchirures faites par les roches aux abords des rapides (Mission Hourst).

Les cornières à 6 0/0 de cuivre, seules présentaient au retour en France des signes d'altération due sans doute à la présence d'une trop grande proportion de métaux étrangers.

D'autre part, les feuilles techniques, l'*Aluminium* entre autres signalent, en dehors des yachts, embarcations, chalands pour la navigation fluviale en Europe et dans le Nouveau Monde, la fabrication par une maison d'Argenteuil, sous le contrôle des Ingénieurs de la Marine, de pirogues et chalands démontables en aluminium pour nos colonies.

Le métal employé, mais cette fois préservé par une triple couche de peinture, est un alliage à 3 0/0 de cuivre fourni par la Sociéte d'Electro-métallurgie, alliage qui est sans doute le même que celui ayant servi à confectionner les embarcations destinées à la navigation fluviale pour les missions Monteil (Haut Oubanghi) Hourst (hydrographie du Niger), Marchand (Bahr-el-Gazal) et pour lesquelles la peinture avait été jugée superflue. A la traction, le métal écrouï avait donné des résistances de 25 kilogrammes par millimètre carré, avec 10 0/0 d'allongement; recuit, il donnait encore 20 kilogrammes de résistance et l'allongement était monté à 22 0/0 (Minet).

D'essais exécutés par M. l'Ingénieur V. Guilloux, sur les tôles d'un yacht, le *Vendenesse*, qui avaient séjourné un an dans la mer, il ressort également que les barrettes provenant des parties légèrement attaquées là où la peinture avait disparu plus ou moins, donnaient encore de 16 à 26 kilogrammes de résistance contre plus de 28 pour les barrettes neuves martelées: résultats très intéressants sous le rapport des torpilleurs ou baleinières transportés et ne devant être au contact de la mer que d'une façon intermittente.

Des wagons-citernes, construits avec ce même métal, et restés en France exposés à toutes les intempéries chez M. Lefèvre, constructeur, ne présentent également pas d'altérations appréciables après plusieurs années.

Il en eût été autrement, bien certainement, si, dans ces diverses circonstances, le métal eût présenté un degré inférieur de pureté.

D'après nos expériences personnelles, l'action de l'eau de mer est bien moindre que celle qui s'exerce sur les autres métaux et alliages usuels; elle est considérée comme relativement faible par le constructeur Yarrow, de Manchester, qui vient de livrer au gouvernement Français un torpilleur; au contraire, M. Normand, le distingué directeur de l'importante maison de constructions navales du Havre, selon une déclaration qu'il a bien voulu nous faire, l'estime très accusée. Cette appréciation remonte à quelques années, alors que le métal contenait en quantités appréciables du fer, du sodium et de l'alumine non réduite ou de réoxydation. Mais elle demande certainement encore à être prise en très sérieuse considération dans les choses de la marine.

On dit bien que, sous une certaine épaisseur, la couche de chlorure et d'oxyde d'alumine gélatineux pouvant se former est de nature à protéger les surfaces en contact avec l'eau salée, et empêcher l'incrustation des coquillages.

Néanmoins il semblera toujours préférable comme cela se fait pour tous les métaux en contact avec l'eau de mer, de recouvrir ces blindages d'une couche de vernis spécial à renouveler de temps à autre, surtout après le séjour dans les eaux plus ou moins ammoniacales des bassins.

L'ammoniaque organique et ses composés semblent agir, en effet, en émulsionnant les huiles siccatives servant de base aux vernis, et par suite en désagrégeant l'ensemble, de façon que l'attaque du métal finit par se faire sous la double action des éléments chlorurés et ammoniacaux.

L'attaque assez vive sur l'aluminium impur contenant de 2 à 6 0/0 de fer par exemple, est bien moins vive lorsqu'il n'y a que 5 0/0 de fer et autant de silicium, sans compter l'oxyde d'alumine non réduit qui se transforme facilement en chlorure.

Nos expériences sur un échantillon pesant $4^{gr},534$ présentant la composition ci-dessus, ont permis de constater après trois mois de contact avec l'eau de mer artificielle à 35 grammes de sel par litre, une perte de 7 à 8 milligrammes, sur toutes les faces, soit 1/1000 environ sur une face. Sur un échantillon de métal

pur pesant 133gr,835, la perte est presque insignifiante dans ces mêmes conditions (1).

Action des vins. — Après vingt-quatre heures un litre de *vin rouge* contenu dans un bidon d'aluminium à 990 millièmes de pureté et du poids de 175 grammes, ne dissout, d'après les analyses de M. le pharmacien-major Riser, que 2 à 3 milligrammes d'alumine, sous formes de composés absolument inoffensifs, insolubles au reste dans les sucs gastriques de l'économie.

Après quarante-huit heures, la proportion ne varie pas sensiblement et après huit jours le vin s'étant acétifié par le contact de l'air, la perte n'était que de 9 à 10 milligrammes, soit pour 175 grammes poids du bidon, une perte en 8 jours de 1/20000 qui ne correspondrait qu'à 1/80000 sur chacune des quatre faces.

Sur deux gobelets de table ayant servi pendant trois ans à nos enfants, l'un en aluminium pur ne présente aucune altération, le deuxième à 960 millièmes de pureté présente des taches noires au fond là où se trouvait agglomérée l'impureté fer dans la proportion de 3 0/0.

Les pertes avec le *vin blanc* sont sensiblement les mêmes qu'avec le vin rouge.

Dans les deux cas, on voit distinctement à l'œil nu ou à la loupe, les points d'attaque représentés par de petits pointillés semblant correspondre surtout aux molécules fer disséminées dans la masse, les mêmes d'où partent également dans l'eau, les légers filaments d'hydrate d'oxyde d'alumine correspondant à une altération légère signalée.

Avec la *limonade tartrique*, attaques sensiblement les mêmes que celles constatées avec le vin.

Avec l'*eau aromatique* (fleur d'oranger, citron), action insignifiante.

Avec la **solution de glyzine**, attaques généralement plus fortes qu'avec l'eau de source (solution ammoniacale).

---

(1) Les expériences sur le bateau le *Vendenesse* et sur des fils d'aluminium, relatées par le capitaine Houdaille, montrent que l'action de l'eau salée sur l'aluminium est très lente lorsqu'il y a immersion complète, mais très accusée par l'action alternative de l'eau salée et de l'air.

Les **sirops, mellites**, etc. ont une action nulle.

Bière. — Sensiblement comme avec l'eau.

Cidre. — Sensiblement comme avec le vin.

Lait. . . .	Nulles, excepté lors de la transformation en acide lactique dont l'action est la même que celle de l'acide tartrique.
Café, thé .	A la longue, légère attaque (tannate de fer et aluminium sensiblement même).
Vinaigre ordinaire.	Attaque faible comme celle des acides tartrique, citrique, au même degré de dilution.
Saumures.	Attaque appréciable, mais incomparablement plus faible cependant qu'avec les autres métaux.

Huiles comestibles. — Action nulle.

Beurre, graisses comestibles d'origine animale ou végétale. — Action nulle si ce n'est à la longue par la rancidité.

Fruits confiturés. — Action très faible comme pour les acides organiques.

Alimentation en général. — D'après des expériences faites au laboratoire Frédéric-Guillaume, à Berlin (traduction de M. le pharmacien-major Amsler de l'hôpital militaire de Lyon), sur des marmites dont la composition au titre de 990 millièmes (1) avait été établie par les pharmaciens de l'armée allemande, Dichl, Back, Hunze et Bruckner, dont la surface correspondait à 732 centimètres cubes, les quantités d'aluminium absorbées par les deux hommes nourris avec des aliments exclusivement préparés dans ce métal, correspondaient aux chiffres suivants :

(1) Sous réserve des méthodes d'analyse, à cause de la difficulté de séparer les hydrates d'oxyde de fer et d'alumine et de l'usage de doser l'alumine par différence.

Pendant la 1re période (19 j.)	0,0022	0,0016	0,0018	0,0011	0,0012	0,0013	0,0007
— 2e — (12 j.)	0,0024	0,0010	0,0012	0,0018	0,0013	0,0014	0,0027
— 3e — (12 j.)	0,0026	0,0032	0,0014	0,0012	0,0015	0,0012	0,0010
— 4e — (25 j.)	0,0006	0,0008	0,0006	0,0007	0,0009	0,0007	0,0005
Moyenne en 68 jours. . . .	0,0017	0,0015	0,0012	0,0010	0,0011	0,0011	0,0010

Alcools concentrés ou étendus. — Action insignifiante.

Cognacs, rhums. — Légère attaque et formation de tannate de fer et aluminium.

Alcoolés de quinquina et autres. — Attaque insignifiante.

Liqueurs diverses. — Pas d'attaque appréciable.

Brôme, chlore et iode. — Attaque sensible.

Alcalins concentrés. — Attaque vive sur l'aluminium industriel (1).

Sels alcalins concentrés. — Attaque plus ou moins vive, ralentie dans les solutions bicarbonatées par la présence de CO^2 libre.

Salicylate de soude. — Attaque assez lente.

Iodure de potassium. — Attaque sensible, mais peu accusée comme par l'eau calcaire; à la longue, donne lieu à un petit dépôt qui peut être vu à la loupe.

Soufre. — Sans action, même chauffé au rouge dans un tube de verre.

Sulfhydrate d'ammoniaque. — **Hydrogène sulfuré.** — Attaque nulle au titre de 0,995.

Polysulfure de potassium. — Attaque assez faible.

---

(1) Cette attaque est produite également par la lessive de cendres; aussi faut-il se garder d'y recourir pour le nettoyage de l'aluminium qui se polit fort bien, simplement avec le tripoli finement pulvérisé et légèrement additionné d'eau. Il nettoie à l'essence minérale, à l'acide azotique ou au savon minéral, moins riche en alcali que les cristaux de soude ou les cendres de bois.

Savon vert. — Très alcalin, à base de potasse; attaque sensiblement l'aluminium.

Savon minéral. — A base de cristaux de soude et tripoli. Attaque faiblement le métal à l'état de pâte et peut parfaitement servir pour le nettoyage.

Sels mercuriels. — Attaque très vive, amenant la corrosion.

Mercure métallique. — Exerce sur l'aluminium industriel une action peu définie, à la suite de laquelle on voit sortir du métal des houppes d'hydrate d'oxyde d'alumine, sans altération apparente.

L'aluminium résiste mieux que l'argent à l'action des **liquides organiques**, et pour beaucoup d'instruments chirurgicaux, tels que tubes de trachéotomie, fils de suture, râteliers, etc., le métal a déjà reçu une large extension.

Beaucoup de chirurgiens ont leurs instruments en aluminium, ce métal ayant l'avantage de pouvoir être lavé à fond avec les solutions antiseptiques.

M. Hunt ajoute que la moiteur des mains, dans les manipulations, peut ternir le métal poli, comme cela arrive avec les autres métaux; mais nous verrons que cette remarque s'applique surtout à l'aluminium très inférieur, et comme preuve à l'appui nous pouvons citer, à titre d'expérience personnelle, l'usage de clefs à 985 millièmes de pureté, restées brillantes après plusieurs années d'usage. Ces données, empruntées aux comptes rendus des feuilles techniques *(Pittsburg reduction)* ainsi qu'à nos observations et expériences nombreuses aboutissent, à vrai dire, à des résultats similaires de nature à mettre en relief la nécessité de partir, en tout et pour tout, d'un métal sinon pur, au moins au titre le plus élevé, soit 990 à 995 millièmes, obtenu pratiquement jusqu'ici par les Sociétés électro-métallurgiques françaises et américaines; elles découlaient déjà de l'observation générale suivante, empruntée à H. Sainte-Claire Deville, confirmée par nos recherches récentes concernant le bronzage et le nickelage de l'aluminium.

Le savant chimiste avait constaté que le dépôt de cuivre métallique, se formant sur une lame d'aluminium plongée dans

une dissolution de sels de cuivre, était extrêmement lent à se produire, et d'autant plus que l'aluminium était plus pur. Il avait même observé, au bout de quelques semaines d'expériences sur l'aluminium associé au fer, que la texture du métal étiré se dessinait sous forme de fibres rouges, comme si les deux métaux n'étaient que juxtaposés et que les fibres ferrugineuses agissent seules : d'où un dépôt d'abord local, ne se généralisant qu'à la longue. Il y avait vu une sorte de phénomène de passivité de l'aluminium que le temps anéantit peu à peu lorsque le métal est en contact avec des dissolutions métalliques très conductrices.

Inversement, pour recouvrir les métaux d'un enduit d'aluminium ou d'alliage d'aluminium, on le traite (Broadwell, brevet américain) par une solution de chlorure d'étain ou de zinc pour le plonger dans le bain d'aluminium ou d'alliage fondu.

L'aluminium adhère énergiquement au verre chauffé dès que la température est suffisante pour fondre le métal et cette propriété permet de métalliser des pièces de verre surtout par des alliages fusibles avec l'étain, par exemple (Ch. Margot, de l'Université de Genève).

§ 3. — Résumé.

D'une manière générale, lorsqu'il y a action d'un réactif sur l'aluminium, cette action est d'autant moins accentuée que le métal est plus pur.

Mais les résistances mécaniques étaient parfois en rapport inverse de pureté; aussi des industriels s'engageaient-ils dans la recherche des ferro-aluminiums ou aluminiums au silicium pour obtenir la dureté.

L'addition de cuivre, chrome, titane, manganèse, argent, sans présenter d'inconvénients, sous le rapport de la conservation, donne des alliages définis, doués de beaucoup plus de résistance et d'allongement que le métal.

Par contre, si les pourcentages de zinc, étain, fer, augmentent également les qualités mécaniques, ils compromettent la stabilité par suite des réactions électro-chimiques ou galvaniques pouvant provenir du manque d'homogénéité de la masse.

D'autres éléments : sodium et alumine de réoxydation, sans aucune action utile sous le rapport des propriétés mécaniques, constituent une cause d'altération, et leur présence, dont les anciennes méthodes d'analyse ne semblaient guère se préoccuper, peut seule expliquer les écarts des résultats obtenus par les expérimentateurs allemands, dans les chiffres indiqués dans les tableaux, comme représentant la composition centésimale.

En résumé, l'aluminium industriel, très variable dans sa composition, est loin de présenter d'une manière générale les mêmes garanties que le métal pur selon ses diverses applications.

Il faudra surtout redoubler de précautions avec le métal commercial qui peut renfermer des proportions importantes de corps étrangers, ajoutés soit dans un esprit de lucre, soit pour rechercher diverses propriétés de malléabilité, allongement, résistance ou autres.

Dans nos premiers essais exécutés sur des lamelles contenant 5,99 0/0 de fer et dont le poids variait entre 201 et 247 milligrammes, les pertes relevées après quinze jours variaient de 1 à 2 milligrammes, selon la composition centésimale des échantillons expérimentés dans l'eau et les liquides usuels.

Avec l'alliage à 6 0/0 de cuivre expérimenté au parc de Chalais par MM. le capitaine Jullien et le commandant Renard, ces pertes étaient sensiblement les mêmes, ce qui n'a rien de surprenant, puisque l'on avait affaire à un alliage composé : alumine, fer et cuivre.

Les tableaux suivants reproduisent les résultats de ces expériences ; il ressort que certains métaux étrangers à dose appréciable exercent une influence fâcheuse au point de vue de la conservation de l'aluminium et que, sous ce rapport, le cuivre est loin de présenter les mêmes inconvénients que le fer.

ACTION DE DIVERS LIQUIDES USUELS ET MÉDICAMENTEUX

(LABORATOIRE DE L'HOPITAL MILITAIRE DE BELFORT.)

Du 5 au 21 juillet 1887.

SOLUTIONS	LAMES D'ALUMINIUM ALLIÉ A 6,10 0/0 de fer 2,80 de silicium.			LAMES D'ALUMINIUM ALLIÉ A 5,90 de cuivre 5,85 de fer 2,75 de silicium.		
	Poids primitif.	Poids après 15 jours de contact.	Pertes.	Poids primitif.	Poids après 15 jours de contact.	Pertes.
	gr.	gr.	mgr.	gr.	gr.	mgr.
Infusion de maté	1,205	1,204	1	1,445	1,444	1
Solution de chlorure de sodium à 35 0/0	1,207	1,195	12	1,465	1,464	1
Eau ordinaire	1,201	1,200	1	1,388	1,385	3
Eau distillée	1,254	1,252	2	1,384	1,383	1
Lait	1,248	1,247	5	1,514	1,514	»
Vinaigre	1,252	1,247	5	1,400	1,393	7
Vin	1,252	1,250	2	1,422	1,420	2
Café	1,247	1,246	1	1,436	1,435	1
Glyzine	1,230	1,226	4	1,390	1,384	1
Thé	1,280	1,279	1	1,567	1,566	1
Acide tartrique à 1/10	1,226	1,223	3	1,473	1,472	1
Limonade tartrique	1,227	1,226	1	1,381	1,378	3
Vaseline	1,253	1,253	»	1,441	1,441	»
Solution de sublimé à 1/1000	0,245	0,249	»	1,450	1,453	(1)

(1) Altération sérieuse, mais pertes difficiles à évaluer à cause du dépôt de mercure sur les lamelles.

ACTION DE DIVERS LIQUIDES USUELS ET MÉDICAMENTEUX

(LABORATOIRE DE L'HOPITAL MILITAIRE DE BELFORT.)

Octobre-Décembre 1887.

SOLUTIONS	LAMELLES D'ALUMINIUM commercial. (90,10 d'aluminium. 5,99 de fer. 2,85 de silicium. 1,06 Impuretés diverses.)				ALLIAGE à (84,52 0/0 d'aluminium. 6 0/0 de cuivre. 5,79 de fer. 2,50 de silicium. 1,19 Impuretés diverses.)			
	Poids primitifs.	Poids après 45 jours d'immersion.	Perte.	Augmentation.	Poids Primitifs.	Poids après 45 jours d'immersion.	Perte.	Augmentation.
	gr.	gr.	mgr.	mgr.	gr.	gr.	mgr.	mgr.
Iodure de potassium à 1/10	1,267	1,262	5	»	1,426	1,428	6	»
Infusion maté	1,205	1,203	2	»	1,445	1,442	3	»
Solution Van Swieten	1,225	1,230	»	2	1,393	1,388	»	3
Chlorure de sodium à 35 0/0	1,207	1,192	15	»	1,455	1,429	26	»
Vaseline	1,246	1,246	»	»	1,441	1,441	»	»
Solution phéniquée 2 0/0	1,255	1,252	3	»	1,378	1,373	5	»
Eau distillée	1,254	1,251	3	»	1,384	1,380	4	»
Lait (acide lactique)	1,248	1,245	3	»	1,514	1,513	»	»
Vinaigre ordinaire	1,252	1,247	5	»	1,400	1,393	7	»
Vin	1,253	1,250	3	»	1,422	1,420	2	»
Café	1,247	1,245	2	»	1,436	1,436	1	»
Chlorure sodium 3,58 / Acide acétique 3,50	1,266	1,248	18	»	1,504	1,504	12	»
Eau ordinaire	1,202	1,200	2	»	1,388	1,388	3	»
Solution de glyzine	1,230	1,226	4	»	1,390	1,390	1	»
Collodion	1,290	1,290	»	»	1,511	1,511	»	»
Thé en solution	1,250	1,278	2	»	1,567	1,566	1	»
Acide tartrique à 1/10	1,226	1,223	3	»	1,473	1,472	1	»
Huile à manger	1,237	1,237	»	»	1,441	1,441	»	»
Carbonate de soude à 1/10	1,239	1,195	44	»	1,381	1,360	21	»
Acide tartrique 30 0/0	1,255	1,246	9	»	1,347	1,345	2	»
Borax à 307/00	1,227	1,225	2	»	1,491	1,491	»	»
Limonade tartrique	»	»	»	»	1,381	1,378	3	»

NOTA. — Il s'agit ici de simples chiffres, sorte d'échelle sans proportionnalité, étant donnée l'inégale durée de ces premiers essais, effectués sur les lamelles d'aluminium vendues à cette époque comme réactifs. On voit cependant que les alcalins, les composés mercuriels, les chlorures attaquent assez vivement le métal.

On voit que, après quarante-cinq jours, les pertes constatées sur les lamelles A, formées d'aluminium industriel non allié, de préparation antérieure à la mise en exploitation des procédés électrolytiques et contenant près de 6 0/0 de fer, correspondaient de 0 à 5 milligrammes pour les liquides usuels : eau, limonades, corps gras, vaselines, solutions phéniquées et boriquées ; elles atteignaient 5 milligrammes pour le vinaigre, 8 milligrammes pour les solutions chlorurées ; 10 milligrammes pour les solutions de chlorure de sodium à 35 grammes additionnées de 3gr,5 d'acide acétique étendu à 10,60 ; 13 milligrammes pour l'iodure et le polysulfure de potassium et 13 milligrammes pour la solution de carbonate de soude à 1/10.

Quant à la solution de bichlorure de mercure à 1/1000, elle donnait une augmentation de poids de 0,005 due à un dépôt de mercure correspondant à une forte corrosion.

Avec l'alliage à 6 0/0 de cuivre, ces pertes étaient légèrement plus élevées, et cela n'avait rien de surprenant, puisque l'on avait affaire à un alliage composé : aluminium, fer, cuivre, devant être plus altérable par suite de l'impureté du fer et des actions galvaniques à craindre dans les combinaisons complexes.

Mais il n'en résulte pas moins que les pertes constatées de cet alliage à 5,99 de fer et 6 0/0 de cuivre sont dues beaucoup plus à la présence du fer qu'à celle du cuivre.

Les métaux étrangers, à dose appréciable, peuvent donc, selon leur nature et les quantités incorporées accidentellement ou volontairement à l'aluminium, exercer une influence fâcheuse au point de vue de sa conservation. L'action, surtout marquée avec le fer, n'est guère sensible dans les conditions de la vie normale qu'avec 6 0/0 de cuivre.

D'autres expériences nous ont démontré également que, peu accentuée avec des pourcentages de nickel ou chrome, elle est plus forte avec le tungstène, le manganèse, le zinc, l'étain et surtout le sodium.

Le silicium ne paraît pas, sous ce rapport, exercer d'action défavorable, mais il n'en est pas de même des points d'alumine de non-réduction ou réoxydation pouvant rester incorporés dans la masse.

C'est donc bien à ces compositions variables, récemment encore condamnées par M. le professeur Riche, qui a constaté

l'altérabilité de ces aluminiums impurs au seul contact de l'eau, que sont dus les nombreux insuccès imputés souvent à tort au métal industriel tel qu'il sort des usines de production.

Aussi, bien rares étaient, vers 1890-1891, les croyants a l'avenir du nouveau métal industriel; c'est pourquoi nous sommes heureux de citer parmi eux notre excellent collègue, le pharmacien principal Balland, qui s'attachait, en même temps que nous, à réfuter les expériences défavorables des chimistes allemands Lunge et Schmit.

Mais il était à prévoir que l'ère des tâtonnements n'était pas terminée, et qu'il en serait ainsi tant qu'il n'existerait pas de Sociétés intermédiaires, surtout techniques, entre la fabrication du métal et ses applications, aussi nombreuses que variées.

Tout résidant donc aujourd'hui dans la pureté du métal, tous nos efforts se dirigèrent de ce côté et, tout d'abord, vers les applications à l'alimentation.

Sous le rapport de l'alimentation, des discussions s'étaient, à ce sujet, produites entre les membres des clubs alpins français et allemands, et nous fûmes assez heureux pour nous rendre compte des causes de la critique d'outre-Rhin.

A l'étranger, le métal, coulé dans des suifs, était, par suite de son extrême porosité à la coulée, fortement imprégné de ces corps étrangers; de plus, on le décapait aux alcalins, sans neutraliser suffisamment la potasse et, de cet ensemble d'opérations, il résultait un goût désagréable et des altérations rapides.

Comme on peut le constater, nous avons surtout expérimenté l'aluminium mélangé de fer, silicium ou allié au cuivre à doses variant de 3 à 6 0/0. Mais, quoique l'action des liquides usuels sur l'aluminium commercial additionné d'étain ou zinc soit beaucoup plus accentuée encore qu'avec le fer, il n'a pas paru utile de l'étudier aussi complètement. Il en est, *a fortiori*, de même en ce qui concerne l'élément sodium se transformant rapidement à l'air libre en soude caustique.

Les deux tableaux suivants résument les résultats de nos recherches; nous en donnerons ensuite d'autres relatant des expériences faites en France et en Allemagne.

ACTION DE DIVERS LIQUIDES USUELS ET MÉDICAMENTEUX

(LABORATOIRE DE L'HOPITAL MILITAIRE DE BELFORT.)

1887-1888 (1).

Aluminium à 5,99 0/0 de fer, 2,85 0/0 de silicium et 91 0/0 d'alumine.
Aluminium à 6 0/0 de cuivre, 5,79 0/0 de fer, 2,50 0/0 de silicium et 85 0/0 d'aluminium.
Lamelles en contact du 23 octobre au 2 décembre 1890.
Lamelles en contact du 18 novembre au 2 décembre 1890.

PERTES DES LAMELLES SELON LE POIDS						SOLUTIONS
Alliage à 5,99 0/0 de fer. — à 2,85 0/0 de silicium.			Alliage à 6 0/0 de cuivre. — à 5,79 0/0 de fer. — à 2,50 0/0 de silicium.			
	mgr.			mgr.		
0,267 à 0,266	13	»	1,425 à 1,425	15	»	Iodure de potassium à 1/10.
0,205 à 0,204	1	»	1,445 à 1,445	2	»	Infusion de maté.
0,225 à 0,230	5	»	1,393 à 1,388	8	»	Solution Van Swieten à 1/1000.
0,207 à 0,202	8	»	1,465 à 1,464	12	»	Chlorure de sodium à 35 0/0.
0,246 à 0,246	»	»	1,441 à 1,441	»	»	Vaseline.
0,255 à 0,252	1	»	1,37 à 1,377	2	»	Solutions phéniquée et boriquée à 5/00.
0,254 à 0,252	1	»	1,384 à 1,383	2	»	Eau distillée.
0,248 à 0,245	3	»	1,514 à 1,514	4	»	Lait (acide lactique).
0,252 à 0,247	5	»	1,400 à 1,393	7	»	Vinaigre.
0,252 à 0,250	2	»	1,422 à 1,420	2	»	Vin.
0,247 à 0,245	2	»	1,436 à 1,435	1	»	Café.
0,266 à 0,248	10	»	1,504 à 1,492	18	»	Chlorure de sodium. Acide acétique.
0,201 à 0,200	1	»	1,388 à 1,385	3	»	Eau ordinaire.
0,230 à 0,226	3	»	1,390 à 1,389	4	»	Solution de glyzine.
0,290 à 0,290	»	»	1,511 à 1,511	»	»	Collodion.
0,280 à 0,278	2	»	1,567 à 1,566	3	»	Thé.
0,226 à 0,223	3	»	1,473 à 1,472	4	»	Acide tartrique à 1/10.
0,237 à 0,237	»	»	1,441 à 1,441	»	»	Huile à manger.
0,239 à 0,195	35	»	1,381 à 1,360	44	»	Carbonate de soude à 1/10.
0,255 à 0,246	1	»	1,347 à 1,345	2	»	Acide tartrique à 30 0/00.
0,227 à 0,225	2	»	1,491 à 1,491	3	»	Borax à 307 0/00.
			1,381 à 1,378	3	»	Limonade tartrique.

(1) En collaboration avec le pharmacien-major Jehl, actuellement attaché au Ministère de la Guerre.

TABLEAU DES PREMIÈRES EXPÉRIENCES

FAITES AUX LABORATOIRES DES HOPITAUX MILITAIRES DE BELFORT ET VERSAILLES.

1887-1892.

Composition centésimale.

Aluminium	89,80 %	92, » %	94 » %	96 » %	99,95 %
Silicium	2,20 %	2,05 %	1,5 %	1,5 %	0,03 %
Carbone, divers	indéterminé.	indéterminé.	indéterminé.	indéterminé.	indéterminé.
Fer	8 %	6 » %	4,50 %	2,5 %	» »
Cuivre, zinc	traces.	traces.	traces.	traces.	traces.

Pertes après 45 jours d'immersion sur 4 faces.

1° Eau distillée	1/310	1/450	1/620	1/2000	0
2° Eau de la Savoureuse Belfort : terrain granitique, 0,04 à 0,05 de résidu salin. Pas d'ammoniaque libre ou combiné.	1/350	1/500	1/750	1/2500	0
3° Eau du camp de Satory Seine à Choisy-le-Roi : 0,20 de résidu salin. Traces d'ammoniaque combiné.	1/300	1/400	1/700	1/2200	traces.
4° Eau de Versailles Source séléniteuse mélangée à eau d'étang argileuse et eau de Seine à Marly ; 0,25 de résidu salin ; quantité appréciable d'ammoniaque.	1/290	1/390	1/415	1/950	traces.
5° Eau de mer artificielle 30 grammes de chlorure de sodium par litre.	1/70	1/125	1/170	1/380	1/700
6° Vin rouge	1/250	1/275	1/300	1/2000	traces.
7° Vinaigre	1/70	1/190	1/215	1/780	traces.
8° Huiles d'olives, œillette et colza	0	0	0	0	0
9° Pétrole-Vaseline	traces.	traces.	traces.	traces.	0
10° Thé-Infusion Café Maté	1/800	1/1000	1/1200	1/3000	traces.
11° Acide lactique	1/50	1/190	1/200	1/900	traces.
12° Limonade tartrique	1/200	1/500	1/800	1/1000	traces.
13° Solution de glyzine	1/250	1/350	1/600	1/5000	traces.
14° Alcool à 95°	1/1000	1/1500	1/2500	1/4000	0
15° Alcool à 50°	1/450	1/610	1/700	1/3000	0
16° Acide phénique cristallisé 50 0/0	1/1200	1/700	1/2000	1/5000	0

§ 4. — Expériences diverses.

EXPÉRIENCES DES CHIMISTES ALLEMANDS

LUNGE ET SCHMITT (1889)

Ces chimistes ont expérimenté une feuille de tôle d'aluminium commercial laminé de 1 millimètre d'épaisseur fourni par *Aluminium-Industrie-Actiengesellschaft*, de composition suivante :

Silicium	combiné	0,44 0/0
	cristallisé	0,11 —
Fer		0,25 —
Cuivre		traces.
Aluminium		99,20 0/0

Sur des rubans et au contact des corps suivants, la perte évaluée en milligrammes sur 130 centimètres carré, a été, pour les lames A et B, après six jours d'immersion :

LIQUIDES D'IMMERSION	A 130 cq	B 130 cq	MOYENNE	
			130 cq	100 cq
Avec vin rouge	4,1	3,3	3,7	2,84
— — blanc	4 »	4,5	4,3	3,27
— eau-de-vie	1,6	1,2	1,4	1,08
— alcool à 50°	0,8	0,8	0,8	0,61
Acide tartrique à 5 0/0	1,9	2,4	2,2	1,65
— — 1 0/0	3,6	3,1	3,4	2,58
— acétique à 5 0/0	4,3	3,7	5,0	3,85
— — 1 0/0	6,2	3,2	5,7	4,38
— citrique à 5 0/0	2,8	2,8	2,8	2,15
— — 1 0/0	2,4	2,6	2,5	1,90
— lactique à 5 0/0	6,1	6,3	6,2	4,79
— butyrique à 3 0/0	1,7	1,7	1,7	1,31
— café	0,6	0,7	0,65	0,50
— thé-bière	0 »	0 »	0 »	0 »
— borique à 4 0/0	2,3	2,3	2,3	1,77
— phénique à 3 0/0	0,1	0,5	0,3	0,25
— salicylique	7,3	9,2	8,3	6,50

MM. Lunge et Schmitt concluaient à une altération sensible au contact des divers liquides usuels. Il y a lieu de formuler ici des réserves au sujet de la composition centésimale très difficile à établir à cette époque et de la présence probable du sodium, élément des plus fâcheux au point de vue de la conservation (Moissan).

EXPÉRIENCES

DE M. BALLAND, RELATIVES A L'ACTION DE DIVERS LIQUIDES SUR DES ÉCHANTILLONS D'ALUMINIUM A COMPOSITION NON DÉFINIE (1891-1892).

Essais faits sur des lames de 5 grammes mesurant 18 centimètres carrés.

Acide tartrique	Dépôt d'un léger enduit noirâtre au bout de 60 jours, la lame avait perdu 0,016 soit 0gr,042 par centimètre carré.
Bitartrate de potasse	Même remarque et même perte que ci-dessus.
Savon vert	Attaque du métal avec dégagement d'hydrogène. Pertes après cinq jours 0,025 par 5 grammes soit 0,060 par 100 centimètres carrés.
Acide phénique	Aucune action sensible.
Soude	Attaque plus vive qu'avec l'ammoniaque.
Urine	Lame recouverte d'une couche d'urates ; points légèrement corrodés.

L'auteur concluait à une altération de l'aluminium infiniment moins sérieuse sous l'action de divers liquides que celle constatée par MM. Lunge et Schmitt.

Au sujet de l'action de l'acide phénique en particulier reprise par M. le pharmacien inspecteur Marty, membre du Comité technique de santé au Ministère de la Guerre, nous n'avons qu'à ajouter ici les résultats d'une expérience récente faite sur un

petit bassin de pansement en aluminium à 98,20 0/0 de pureté et seulement 0,68 de fer.

Après trois mois de contact avec l'acide phénique cristallisé, (solution concentrée à demi-parties égales d'alcool 95° et d'acide phénique cristallisé et coloré au violet de gentiane), on ne constate pas d'attaque appréciable et le métal conserve son éclat.

EXPÉRIENCES

DE MM. PLAGGE ET LIBELIN

Directeur et Chimiste du laboratoire de l'Institut Frédéric-Guillaume

A BERLIN (1893).

Rapport au Ministère de la Guerre royal (1893) (1)

(Traduction de M. le Pharmacien-major de 1re classe Amsler.)

Composition moyenne du métal.

Fer	de 0,11 à 2gr,50
Silicium	de 0,15 à 1gr,17
Alumine Sodium	indéterminé.
Aluminium (alumine comprise)	94,47 à 96,33.

1° Essais sur les bidons de 150 centimètres cubes du poids de 135 grammes en aluminium, après un contact de vingt-quatre heures :

Cognac, trouble, taches noirâtres dues au tannate d'alumine et fer sans doute (insolubles).

Vin rouge, trouble, taches noirâtres dues au tartrate d'alumine et fer sans doute (insolubles).

Thé, taches avec décoloration du liquide, tannate d'alumine.

2° Essais sur des gamelles de campement, poids probable 0kg,500

1 litre de vinaigre (acide acétique à 6 0/0 après vingt-quatre heures d'ébullition) : pertes. 0gr,360

---

(1) Publié sous forme de brochure.

2 litres de vinaigre (acide acétique à 4 0/0 après vingt-quatre heures d'ébullition) : pertes. 0gr,285

2 litres de vinaigre (acide acétique à 1/2 0/0 après vingt-quatre heures d'ébullition) : pertes. 0gr,117

Essais d'une durée de six semaines sur les bidons de campagne, les ustensiles étant remplis chaque jour, puis vidés après vingt-quatre heures et lavés à l'eau quelque peu additionnée de carbonate de soude :

	POIDS AVANT ESSAIS	POIDS APRÈS ESSAIS	PERTES BRUTES	PERTES 0/0
Eau	133,79	133,68	0,14	0,105
Café	134,77	134,55	0,22	0,156
Vinaigre.	134,77	133,80	0,51	0,441
Nettoyage au carbonate de soude.	142,50	141,60	0,9	0,63
Après nettoyage à eau et sable	144,12	144,07	0,05	0,048

L'analyse des taches formées par le cognac, le vin piqué, etc., démontre la présence du fer.

Le rapport officiel concluait ainsi : « Tous ces résultats sont de nature à dissiper complètement les craintes qu'avait manifestées l'Administration de la Guerre à la suite des expériences de MM. Lulbert et Roscher. Actuellement, on arrive à faire de l'aluminium laminé suffisamment résistant pour la fabrication des objets qui constituent l'équipement ; reste la question de prix, mais outre qu'à ce point de vue, l'aluminium devient de jour en jour plus abordable, dès maintenant les sacrifices seraient-ils si lourds qu'on puisse reculer longtemps encore en considération surtout du but à atteindre : allégement de nos soldats ou meilleure utilisation de leur force de résistance

par une augmentation du nombre de cartouches qu'ils pourraient porter? Nous ne le croyons pas et nous pouvons nous considérer comme étant à la veille d'une transformation complète dans notre armement. »

EXPÉRIENCES

FAITES SUR L'ALIMENTATION DE DEUX GARÇONS DU LABORATOIRE FRÉDÉRIC-GUILLAUME A BERLIN, NOURRIS AVEC DES ALIMENTS CUITS DANS DES RÉCIPIENTS EN ALUMINIUM

Dans le lard après 64 jours de cuisson, une lame de 5,70 est arrivée à 5,45 accusant une perte de 0,25 (due au chlorure de sodium vraisemblablement). Proportion d'aluminium consommé dans les repas après 37 jours ; poids de la tôle d'aluminium qui a cuit avec tous les aliments : 4,30 avant les essais et 4,24 après soit une perte de 0,06 en 57 jours ou une perte de 0,0081 par jour et par tête. Après 68 jours, les pertes par 100 à une épaisseur de $1^{m}/_{m},5$ varient de 304 à 0,006 pour la composition moyenne suivante :

Fer.	0,130	Aluminium . . . . . (Y compris l'alumine non réduite.)	99,20
Silicium.	0,170	Sodium, etc.	

Après ces essais, portant sur la cuisson de tous les aliments, viande, légumes, lard rôti, café, etc., les hommes ne furent *nullement incommodés* et, au contraire, ils avaient pris de l'embonpoint.

Conclusions. — « En résumant nos recherches au point de vue sanitaire, il n'y a donc aucune raison sérieuse qui puisse s'opposer à l'usage des ustensiles en aluminium, soit culinaires ou autres. Les expériences ultérieures démontrent dans quelle mesure on pourra remplacer les ustensiles employés jusqu'ici, par des ustensiles en aluminium. Cette question doit être tranchée par l'Administration. »

Ces résultats sont la confirmation pratique de l'innocuité des sels d'alumine établie par Würtz.

Des essais analogues auxquels nous avons procédé nous-même ne nous ont permis de constater, à l'usage, aucun inconvénient d'aucune sorte.

Il s'agissait cependant de l'usage exclusif pour la table, avec consommation de vin, bière, cidre, etc. de gobelets en aluminium pour nos enfants et ustensiles pour les préparations culinaires après trois années, c'est à peine si le fond de ces objets porte la trace de légers points d'attaque, dus au fer et à l'oxyde d'alumine non réduit au contact du sel marin et des acides organiques.

Mêmes résultats pour des essais sur des gamelles individuelles pour hommes de troupe, bidons ayant contenu du vin pendant huit à dix jours et consommé ensuite par un seul homme, ne nous ont permis de constater, à l'usage, aucun inconvénient d'aucune sorte.

ESSAIS DE SIEM

SUR L'ACTION DES SELS D'ALUMINIUM

(Tartrate d'alumine et soude en injections hypodermiques.)

Lapin,	dose mortelle	0gr,300	par kilogramme.
Chien	—	0gr,250	—
Chat	—	0gr,250	—

La mort s'ensuivit le plus tôt, après une semaine et demie et un empoisonnement aigu ne fut pas obtenu.

Grenouilles : 0,02 à 0,03 dose mortelle ; après dix à vingt-quatre heures paralysie générale des centres nerveux (probablement par action directe du métal sur les ganglions cérébraux et la moelle épinière).

Les muscles périphériques restèrent intacts ainsi que le cœur. Chez les animaux à sang chaud les phénomènes d'intoxication se produisent lentement. Les symptômes les plus saillants furent la perte de l'appétit, l'amaigrissement, la fatigue, l'indifférence à tout, finalement insensibilité et paralysie qui conduisent insensiblement à la mort. A l'autopsie on trouve une légère inflammation de la séreuse de l'estomac et de l'intestin grêle par endroits de petites ulcérations dans la séreuse

stomacale, de la dégénérescence graisseuse du foie et une dégénérescence hyaline dans l'épithélium rénal.

Il n'y a aucun doute que l'aluminium comme tous les autres métaux employés en quantité suffisante et sous une forme appropriée introduit dans le sang puisse produire des phénomènes toxiques.

Mais ici nous n'avons qu'à considérer si de petites quantités d'aluminium introduites dans les aliments sont oui ou non dangereuses.

L'alumine se retrouve exclusivement dans les fèces.

L'urine n'en contient pas.

De toutes ces recherches, portant plus particulièrement sur les applications de l'aluminium dans les ustensiles culinaires, il résulte donc que :

1° Les premières expérimentations ont porté sur un métal impur ou à composition mal définie, pour la double raison que les méthodes analytiques étaient fort compliquées, surtout pour la séparation de l'alumine et de l'oxyde ferrique et que l'on ne trouvait guère, même dans les maisons spéciales d'objets de laboratoire, de chimie et physique, d'aluminium à un titre supérieur à 990 millièmes avec une teneur de 6 0/0 de fer en moyenne;

2° D'après les altérations liées aux pertes de poids constatées sur ces aluminiums impurs ou alliés au zinc, à l'étain, d'après celles constatées depuis sur l'action fâcheuse du sodium, le métal type devra être classé à l'analyse comme exempt d'alumine non réduite, de sodium, carbone, phosphore, etc., et ne contenant pas plus de 0,3 à 0,4 de fer et silicium, éléments tolérés en ces proportions, en attendant de nouveaux perfectionnements dans la métallurgie;

3° Ce même métal doit être recueilli dans du sable propre, à l'exclusion des suifs et vieux naphtes de nature à donner aux contenus des récipients un mauvais goût assez difficile à enlever par la suite;

4° L'alliage avec de faibles pourcentages de cuivre (6 0/0 représentent une proportion déjà trop élevée) ne paraît pas exercer d'action fâcheuse sur la conservation, mais il n'en

est pas de même lorsqu'il s'agit de fer, étain, plomb, zinc, ces derniers métaux devant être au reste proscrits, lorsqu'il s'agit d'objets destinés à être utilisés dans l'alimentation.

Comme procédés de fabrication, nous préférerions l'emboutissage, chaque fois qu'il sera possible, à l'exclusion des soudures généralement imparfaites ou à base de métaux faisant pile avec dégagement abondant d'hydrogène (Riche).

Cet emboutissage ne devra pas se faire au contact de l'huile à cause des taches noirâtres qui se forment au décapage à l'acide azotique, lequel devra de plus être exempt d'acide chlorhydrique, véritable dissolvant de l'aluminium.

Pour les pièces obtenues à l'état de fonte, il sera bon de les couler dans des lingotières en métal, plutôt que dans le sable, si on veut obtenir des résistances et une homogénéité plus grandes et tâcher ensuite de leur rendre la résistance par l'écrouissage.

CHAPITRE X

Alliages d'aluminium.

Les alliages d'aluminium forment un sujet qui sera incontestablement du plus grand intérêt pour les ingénieurs futurs, les constructeurs, navigateurs. Ces alliages sont très nombreux et la liste des ingrédients avec leurs proportions pour produire des alliages utiles est très étendue.

En thèse générale, on peut dire que l'aluminium améliore les qualités de tout métal auquel on l'ajoute en petite quantité. Il augmente la résistance et l'éclat des métaux tendres et rend les autres moins susceptibles de corrosion. De même, il gagne en qualités mécaniques, sans perdre beaucoup de son inaltérabilité par l'addition de métaux éloignés dans l'échelle de la pile et plus particulièrement le cuivre, tandis que la présence du zinc, de l'étain, du fer, le rend attaquable par les agents atmosphériques et exige l'emploi des vernis. Il s'allie avec presque tous les métaux utiles ou précieux, formant des combinaisons définies, dont les propriétés mécaniques et le degré d'altérabilité dépendent de la nature des métaux auxquels il est allié, et la teneur des proportions dans lesquelles s'est fait le mélange.

Sauf le plomb et le mercure, l'aluminium s'allie à tous les autres métaux, en particulier avec le cuivre, le nickel ; le manganèse, le titane et le chrome s'y incorporent facilement par

le procédé Langley qui donne des alliages triples dans lesquels entrent des pourcentages de ces métaux dont l'effet est d'augmenter la dureté; au-dessous de 10 à 15 0/0 ordinairement l'aluminium gagne de nouvelles propriétés de résistance générale; au-dessus de 10 à 15 0/0, c'est l'aluminium qui modifie les propriété des autres métaux. Il est assez difficile de les obtenir homogènes, à cause de la différence des points de fusion, et des densités de l'aluminium comparés au fer, au cuivre, au chrôme, au nickel, au zinc, à l'argent. Aussi, est-il bon de passer par des alliages intermédiaires, calculés selon les conditions à réaliser. Ils se divisent par catégories bien distinctes : les alliages légers et les alliages lourds; ceci, en dehors des fers et des aciers, dans la métallurgie desquels l'aluminium est employé pour empêcher les soufflures, par suite de sa propriété d'absorber les gaz à la température de fusion.

1° Les alliages légers avec lesquels on peut, l'écrouissage, le martelage surtout aidant, doubler et tripler la résistance mécanique de l'aluminium sous un poids presque trois fois moindre, que celui des métaux ordinaires, par la simple addition de pourcentages de métaux étrangers, sans diminuer sensiblement la résistance aux agents extérieurs, liquides et composés usuels.

2° Les alliages lourds connus sous le nom de bronzes d'aluminium présentant des qualités de résistance exceptionnelle pouvant dépasser celle des bronzes et des aciers, comparable même à celle des aciers au chrôme ou au nickel, très homogènes, inaltérables et assez malléables pour permettre leur emploi sous de très faibles épaisseurs et réaliser ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, un allègement des plus notables, combiné avec une inoxydabilité remarquable, double avantage qui ne semble pas encore acquis avec les aciers les plus appréciés.

§ 1. — Alliages légers.

Alliages à l'or. — 97 0/0 d'or et 3 0/0 d'aluminium donnent à l'or une plus belle couleur et ce dernier métal ne perd rien de sa ductibilité ou malléabilité.

Alliages d'argent. — L'aluminium allié avec de faibles pour-

centages d'argent, gagne surtout en tenacité, dureté, rigidité. Avec 3 0/0 de ce métal il convient parfaitement pour les instruments de physique, car il est plus dur et plus blanc que le métal pur, inaltérable sous l'action de divers agents atmosphériques, préparations liquides et n'est pas même terni par l'hydrogène sulfuré. La sonorité est aussi augmentée. Dans ces conditions, les alliages peuvent être utilisés avantageusement pour les fléaux de balance et leur emploi dans ce but devient assez fréquent aujourd'hui. Avec 5 0/0, tout en perdant de sa malléabilité, il peut encore être travaillé et prendre un poli beaucoup plus beau que l'argent pur. L'alliage à ce titre a été souvent recommandé pour monnaies divisionnaires, parce qu'il est dur, brillant et conserve son éclat dans le maniement, la sueur étant sans action sur l'aluminium.

Voici les principales propriétés mécaniques de ces alliages d'aluminium et d'argent.

COMPOSITION de l'alliage.		DENSITÉ calculée.	RÉSISTANCE à la rupture	DENSITÉ mesurée.	ALLONGEMENT p. 0/0.	OBSERVATIONS
Aluminium	Argent.	Alum. pur.	18 kg.	2,67	3 0/0	Les tôles employées sont laminées et non recuites.
95 0/0	5 0/0	2,76	24 kg.	2,79	3 0/0	
90 0/0	10 0/0	2,89	31 kg.	2,90	2 0/0	

Alliages d'étain. — Les alliages d'étain et d'aluminium ont été sans importance jusqu'à l'époque toute récente où, des premiers, Bourbouze en a fait connaître un de très grande valeur qui est la conséquence de ses recherches sur la soudure. Un premier alliage composé de 100 parties d'aluminium et de 20 parties d'étain donnait déjà des résultats fructueux au point de vue industriel. Bourbouze l'avait fait connaître avec tous ses détails dans une note adressée le 25 juillet 1884 à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale à Paris, puis en avait fait un nouveau dont la composition est de 10 parties d'étain et de 100 parties d'aluminium; les résistances peuvent atteindre 30 à 38 kilos avec, dans certains cas pour l'alliage à 10 0/0 d'étain, par exemple, une dureté et une malléabilité telles que 10 balles de revolver d'ordonnance tirées à 10 mètres sur une plaque

de 4 millimètres d'épaisseur, d'un poids ne dépassant guère le tiers d'une plaque semblable en acier chrômé, ne nous donnaient, à incidence normale, que de fortes dépressions dans la masse, et à 45° que de simples mouchetés. Plus blanc que l'aluminium, ce nouveau métal a une densité de 2,85, peu supérieure à celle du métal pur; il peut, aussi bien que l'aluminium, servir à la confection de tous les instruments qui exigent une grande légèreté. Son inaltérabilité à la plupart des agents, se rapproche de celle de l'aluminium. Comme il est possible de le souder sans aucune préparation spéciale, aussi facilement que le laiton, est-il dit, cet alliage présente de réels avantages; néanmoins, nous ne conseillerons pas de l'employer sans préservation par des peintures ou des vernis appropriés à cause des altérations chimiques dues au contact des deux éléments aluminium et étain, formant réellement pile avec dégagement d'hydrogène.

Alliages au cuivre. — Allié à quelques centièmes de cuivre, de 1 à 6 0/0 au maximum, il gagne considérablement en ténacité, rigidité et cela sans changement sensible dans le poids spécifique, lequel varie de 2,50 en lingots, à 2,70 en barres forgées.

Ces alliages au cuivre, dont un des premiers semble dû à M. Baille-Lemaire, sont jusqu'ici ceux qui présentent le plus d'avantages pratiques, dans le sens de l'augmentation des propriétés physiques et mécaniques, en regard du minimum d'inconvénients, résultant du fait que, d'une manière générale, tout métal étranger incorporé dans l'aluminium, diminue sa résistance aux agents extérieurs; la teinte est d'un blanc jaune plus agréable. La résistance à la traction augmente selon les proportions de cuivre, alors qu'inversement l'inaltérabilité diminue au contact de l'eau, des liquides et préparations usuels, ainsi que des agents atmosphériques : au voisinage de la mer, surtout. Celui qui réalise le plus grand progrès dans cet ordre d'idées est l'alliage à 3 0/0 de cuivre qui, avec une densité peu différente de celle de l'aluminium, présente une résistance presque double : 20 à 25 kilos par millimètre carré, avec 15 0/0 à 16 0/0 d'allongement. Comme tous les alliages, il est nécessaire qu'il ait pour base de l'aluminium aussi pur que possible, pour éviter les combinaisons ternaires ou quaternaires, moins stables et

et surtout les éléments : fer, sodium, causes d'altération, silicium, amenant une sorte de ternissage, de plus, si l'on veut éviter les actions galvaniques constatées dans les laboratoires, sur des lamelles détachées de la même plaque, il est nécessaire que l'homogénéité soit parfaite.

Dans l'alliage à 6 0/0 de cuivre, la résistance est plus grande et peut atteindre de 35 à 38 kilos, ainsi que l'ont expérimenté MM. le colonel Renard et le capitaine Jullien au parc aérostatique de Châlons.

Employé pour les cornières, fers en U et T, il serait parfait si les conditions de durée ne se ressentaient pas de la plus forte teneur en cuivre et des actions galvaniques en contact avec des liquides et l'atmosphère marine. Déjà constatées par le lieutenant-colonel Monteil, les propriétés de ces alliages ont reçu une deuxième sanction sur une plus grande échelle, à la suite de la mission hydrographique du Niger, dirigée par M. le lieutenant de vaisseau Hourst. Quoi qu'il en soit, l'oxydabilité étant très faible, l'alliage de cuivre ne perd pas sa force sous faible action comme le fer, l'acier. Il augmente plutôt de résistance avec le temps aux dépens de l'allongement (expérience de M. le commandant du génie Houdaille). De plus, la faible couche d'oxyde formé agit comme préservatif d'une attaque plus profonde. La surface ternie peut se repolir mais en enlevant un peu de la surface du métal résistant. Cette perte est réduite au minimum en frottant avec un chiffon imprégné d'huile minérale ou autres produits spéciaux très efficaces.

Alliages au manganèse et au chrome.— Les métaux ci-dessus désignés s'incorporent facilement à l'aluminium par le procédé Langley(1); quelques pourcentages rendent le métal dur sans lui enlever son élasticité; mais aucun n'est supérieur, sous le rapport des qualités mécaniques, à l'aluminium pur.

Un autre, trouvé dans le commerce, et analysé par M. Lévy, avait la composition suivante:

Aluminium : 69,63 0/0.
Titane : 30,37 0/0.

(1) Electrolyse d'alumine, cryolithe avec chrome ou sels de chrome.

Il se présentait en groupements cristallisés dans lesquels on reconnaissait au microscope des angles de 90°. Ces lamelles miroitantes étaient très fragiles et très conductrices de la chaleur. Aussi ne pouvait-on songer à les utiliser pour la fabrication des objets en métal destinés à un usage quelconque.

Alliages au silicium et fer. — De même, les alliages à une teneur en fer inférieure à 1 0/0 et en silicium à 9 0/0 présentent un ensemble de qualités physiques et mécaniques qui les rendent propres aux applications industrielles dans lesquels ils peuvent remplacer l'acier extra-doux (Minet.)

Le grain est très serré ; leur malléabilité correspond à un allongement qui oscille entre 10 0/0 et 15 0/0; laminés et travaillés avec soin, ils atteignent des résistances à la traction, voisines de 23 kilogrammes (1). Ils ne présentent aucune liquation, sont homogènes dès la première fusion et se moulent très facilement. Le silicium ne modifiant pas la densité, et le fer étant en proportion très faibles, la densité ne doit guère s'écarter du chiffre 2,60. De plus, de tels alliages pourraient se fabriquer à un prix beaucoup plus bas que l'aluminium, parce qu'on les obtiendrait en soumettant la bauxite brute à l'électrolyse (?) (Minet).

Alliages au vanadium. — Ce métal, appelé à baisser de prix par le traitement des cendres de charbon provenant de l'Amérique du Sud (2), est signalé comme pouvant augmenter les qualités de l'aluminium; sous la formes de feuilles laminées de 6 millimètres d'épaisseur, présentant à un très haut degré la résistance élastique qui caractérise les aciers blancs et très légers; il ne paraît cependant pas encore pouvoir prendre place parmi les produits industriels.

Alliages au fer. — Le fer étant avec le zinc et l'étain un des métaux donnant le plus facilement au contact des liquides

---

(1) D'après les essais de MM. Le Verrier et Tresca, au laboratoire des Arts et Métiers sur des échantillons coulés, martelés, laminés, la résistance à la rupture variant de 10 à 23 kilogrammes.

(2) Le vanadium, ainsi que cela sera expliqué plus loin, s'obtient par l'aluminothermie.

naissance à des réactions électro-chimiques, lorsqu'il est incorporé avec l'aluminium, il a été reconnu inutile de rechercher des alliages de cette composition. Au début le ferro-aluminium avait paru tout indiqué à cause des propriétés nouvelles que donnait l'aluminium aux aciers ; malheureusement l'inverse ne se produit pas, et si le fer relève le point de fusion et augmente la résistance à la traction, il diminue les chances de conservation du métal. Ces alliages pourraient être utilisables cependant avec vernis protecteur à base de résine, térébenthine, bitume, etc.

Alliages au nickel.— On connaît divers alliages dans lesquels la proportion de nickel est de 2 0/0 parfois associée à 2 0/0 de cuivre. Les premiers semblent avoir été préparés par M. Thiébaut et réunissent d'excellentes qualités mécaniques. La Pittsburg Company a obtenu également sous le nom d'alliage léger, un métal d'une belle couleur blanche d'une résistance de 33 kilogrammes et parfaitement élastique.

Ils présentent généralement de sérieuses qualités physiques, mais semblent moins inaltérables que ceux au cuivre seul.

Ils ont l'inconvénient de contenir des traces d'arsenic dues au nickel.

Alliages au glucinium. — Il était tout indiqué de rechercher les alliages avec les métaux légers de même densité que l'aluminium, comme le glucinium, ne décomposant l'eau qu'à une température élevée et s'obtenant, comme l'aluminium, soit en réduisant les chlorures par le potassium, soit par l'électrolyse, mais non par voie aqueuse à cause de leur affinité pour l'oxygène de l'eau, sous l'action d'une température élevée et présentant en outre l'avantage d'avoir un point de fusion plus élevé, se rapprochant même de celui de l'argent et de ne pas s'altérer par la fusion à l'air libre.

Mais les minerais de glucinium, silicates d'aluminium et glucinium (aigue-marine, béryl ou émeraude de Limoges), sont aujourd'hui rares et on n'en trouve guère qu'en Italie. Il paraît que l'on est arrivé à un bon résultat sous ce rapport, ce qui s'explique par le caractère commun des deux métaux alliés et leurs qualités en certains point similaires. Dans ce cas les alliages

d'aluminium et glucinium semblent devoir être recherchés à tous égards.

Alliages aux autres métaux alcalino-terreux. — Quant aux autres métaux voisins de l'aluminium, par rapport à la densité comme le calcium, le strontium, le lithium, ils s'attaquent trop à l'air humide; l'iridium et le cadmium ont une densité trop élevée, 5,9 et 7,40 et des points de fusion trop faibles. Le magnésium est trop oxydable (1).

Alliages au silicium. — Quelques dixièmes de silicium ne paraissent pas modifier sensiblement les qualités mécaniques de l'aluminium et les conditions de son inaltérabilité. A doses plus fortes, les résistances à la rupture augmentent. Allié à 4 ou 5 0/0 de silicium, il se recouvre d'une épaisse couche d'oxyde pouvant devenir préservatrice.

Alliage au tungstène. — Le seul alliage de ce genre que nous ayons pu examiner avait été obtenu par la réduction du tungstate de fer au moyen de l'aluminium et trop altérable pour être employé sans protection.

Alliages spéciaux.

Alliages à l'antimoine (Baxérès). — L'incorporation de petites quantités d'antimoine dans l'aluminium le rend fibreux et par suite malléable et ductile.

L'antimoine combiné au nickel, au chrome, par la dissolution de baguettes de nickel dans l'antimoine en fusion ou par la fusion d'antimoine et de fer chromé à 80 0/0, donne des antimoniures qui, ajoutés à l'aluminium en fusion dans la proportion de 1 0/0, durcissent ce dernier métal.

Les principaux antimoniures cités par M. Baxérès, sont ceux de : nickel-chrome; titane-nickel-chrome; nickel-titane; nickel-chrome-titane-tungstène; nickel-tungstène; nickel-chrome-tungstène; nickel-cuivre-titane; nickel-fer; nickel-fer-titane, etc.

---

(1) Il donne cependant un alliage dont la dureté peut être intermédiaire entre celles du bronze et de l'acier. C'est le *magnalium* qui renferme 30 0/0 de magnésium (*Moniteur* de Quesneville.)

Alliages dits Partinium. — Les alliages de ce nom ont présenté successivement des compositions variables, avec centièmes de cuivre, nickel, tungstène, manganèse, etc. Très homogènes, et d'une stabilité qui n'a fait que s'accroître, ils représentent déjà, rien que pour les usines de Puteaux, une consommation annuelle de plusieurs centaines de tonnes, pour la confection d'ustensiles culinaires au ton mat à l'intérieur, poli à l'extérieur, et de diverses pièces fondues ou laminées pour automobilisme.

L'un d'eux, à base de tungstène et manganèse et aluminium, présente les caractères suivants :

A. — *Pour les laminés :*

Densité après laminage : 3;
Résistance: 37 kilogrammes par millimètre carré avec allongement de 10 à 12 0/0.

B. — *Pour les pièces venues de fonte :*

Densité : 2,89
Résistance : 12 à 18 kilogrammes par millimètre carré avec allongement de 5 à 6 0/0.

Cet alliage, surtout employé pour l'automobilisme et l'aérostation, se fabrique déjà en France annuellement par centaines de tonnes, dont l'écoulement est assuré sous forme de pièces fondues, tôles et profilés divers.

Alliage à 3 0/0 de cuivre. — Spécial. — La résistance est de 25 kilogrammes par millimètre carré de section avec 14 à 16 0/0 d'allongement, après martelage.

Cet alliage constitue la combinaison qui paraît le mieux se prêter à la confection des ustensiles destinés à l'alimentation. C'est ce qu'a compris l'industrie française éclairée par les études scientifiques et pratiques ; elle est à même de fournir actuellement la partie métallique des appareils de filtration, gazéification ordinaire ou instantanée, appareils à eau de Seltz, sparklets à acide carbonique liquéfié, comme les récipients de lait, vin, la batterie de cuisine la plus perfectionnée, pot au feu compris, avec les avantages suivants :

1° Métal ne fondant pas au feu libre, ne produisant pas de

vert-de-gris comme le cuivre, absolument inoffensif par lui-même et ne contenant pas la moindre trace d'arsenic, comme cela peut arriver avec le nickel, ne s'oxydant pas et n'exigeant en aucune façon l'étamage ou l'émaillage si friable à cause de la différence des coefficients de dilatation, pouvant facilement présenter à l'intérieur le ton mat de l'argent et à l'extérieur le poli du nickel; le tout très facile à entretenir avec des pâtes à mordants très doux pour la partie brillante et avec le savon minéral (tripoli et carbonate de soude) pour la partie mate, en évitant seulement le contact avec l'acide chlorhydrique et autres composés chlorés, tels que l'eau régale, ou avec de l'eau contenant de la soude ou de la potasse en solution concentrée;

2° Pouvant être plaqué de cuivre pur à l'extérieur comme cela se fait pour l'argent, mais avec un prix de revient bien moindre;

3° Présentant presque la même conductibilité pour la chaleur que l'argent avec un pouvoir émissif également très faible;

4° Ne pesant, à volume égal, que le tiers à peine du fer, du cuivre, du nickel ou de l'argent.

A noter que, si dans ces alliages au cuivre les propriétés mécaniques augmentent avec la teneur en cuivre, les actions galvaniques qui peuvent se produire augmentent également selon cette teneur. Mais cela ne semble pas être un obstacle à la fabrication de ces alliages pour certaines applications, comme la monnaie de billon.

Alliages des Forges de Sedan. — Ces alliages, dont nous ne pouvons donner la composition ici, présentent des qualités mécaniques telles que, sous forme de tubes, pouvant se recourber et sous le rapport de la limite élastique et de la charge de rupture, ils réalisent, toutes choses égales d'ailleurs, un allégement de 60 0/0 sur le fer, 40 0/0 sur les aciers, 33 0/0 sur le sapin, sans présenter l'inconvénient de la flèche.

Alliages de l'usine Charpentier-Page, à Belfort. — Présentent également de remarquables qualités mécaniques et propriétés physiques, ainsi que cela ressort des câbles électriques destinés à l'Exposition de 1900 et des nombreux produits fabriqués dans cette maison ainsi que dans les usines

Japy, également du Territoire de Belfort et outillées pour le laminage, l'emboutissage d'alliages homogènes convenablement travaillés et recuits avec soin. Ces combinaisons et d'autres analogues ont été expérimentés en particulier par M. Canet, directeur de l'artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée et du Creusot ; le général Sebert, membre de l'Institut, etc.

Alliages divers. — La Société industrielle le « Phénix » possède des alliages durs, dont la composition est gardée secrète.

M. Addenbroke pense que celui-là serait mauvais prophète, qui poserait des bornes étroites à l'extension de l'aluminium comme facteur d'avenir dans le monde de la métallurgie.

Obble Laflamme, le professeur renommé de l'Université de Laval, examina le métal et donna à Allard un certificat relatant que l'aluminium « tempered » était aussi dur que l'acier.

D'autres Sociétés, comme « la Compagnie française des Métaux de Paris » (1), des industriels comme MM. Japy et Charpentier-Page, Partin, Parent, directeur des Forges de Sedan, Baille-Lemaire, Thiébaut, Lenud-Maillard et quantité d'autres possèdent également des alliages légers présentant certaines qualités des plus appréciables. En Amérique, on utilise pour les cycles un alliage avec 8 0/0 de cuivre et 12 0/0 de zinc ; des alliages chromés pouvant se marteler, laminer et prendre la dureté de l'acier du même nom ? Le métal Roman se compose de : 0,375 de cuivre, 0,105 d'étain, 1,442 d'antimoine, 98,040 d'aluminium. Il est plutôt connu sous le nom de *Wolfranium*. Nombreuses sont les autres combinaisons avec pourcentages de métaux précieux ou usuels. Les qualités mécaniques, comme la stabilité, dépendent du soin apporté à la fabrication.

Mais, de tous, ce sont les alliages au cuivre, de 1 à 3 0/0 au maximum, qui réalisent la plus grande somme de qualités : légèreté et inaltérabilité principalement. Au-dessus de 3 0/0, les qualités mécaniques restent presque stationnaires pour augmenter à 6 0/0 et rediminuer avec des proportions de cuivre plus élevées; mais c'est toujours aux dépens de l'inaltérabilité.

Voici, au reste, l'opinion de M. Le Verrier sur les alliages

(1) M. Fontaine.

légers d'aluminium et de cuivre, formulée il y a quelques années déjà :

« D'abord, le cuivre a une grande affinité pour l'aluminium ; après 3 à 4 0/0, l'alliage ne se traite plus qu'à chaud ; avec 3 0/0 de cuivre et des laminages perfectionnés, la résistance des plaques recuites peut être évaluée à 20 kilogrammes par millimètre carré, avec allongement de 25 à 20 0/0 : l'alliage est donc résistant et non cassant. Écroui, la résistance monte à 30 kilogrammes, mais l'allongement diminue et l'alliage devient cassant. »

Des alliages au chrome paraissent se rapprocher de ceux au cuivre, avec plus de dureté ; mais ils sont peu connus.

Parmi ceux qui sont moins altérables, on peut retenir les alliages au tungstène débarrassé du fer, et signalés par MM. Le Verrier et Bernheim, ingénieur des constructions maritimes ; celui au manganèse, au vanadium, au lithium et surtout celui au glucinium qui semble appelé à donner à l'aluminium des propriétés nouvelles, contribuant à augmenter son inaltérabilité, tout en diminuant encore sa densité.

Pour tous (1), il faut rechercher en première ligne la pureté de l'aluminium, celle des métaux destinés à y être incorporés et rapprocher, dans l'opération, les points de fusion des métaux les plus réfractaires de ceux de l'aluminium par l'adjonction de métaux très fusibles, en proportions insuffisantes naturellement pour constituer des composés complexes et de nature à favoriser les actions électro-chimiques.

Puis, c'est l'homogénéité qui se peut constater par des analyses répétées, le galvanomètre, l'examen des coupes micrographiques.

Généralement, ils présentent le grand avantage de ne pas renfermer de pailles, soufflures, si nuisibles à la qualité des aciers et si dangereuses pour l'utilisation pratique du cuivre, dont les tubes pour chaudières, par exemple, doivent être en

---

(1) Nota. — De ces alliages, est exclue naturellement la composition connue sous le nom d'*aluminite* et vendue depuis quelque temps avec un certain succès sous forme d'ustensiles culinaires : quelles que soient les qualités de ce produit plus riche en kaolin que les porcelaines ordinaires, il n'a d'autre rapport qu'une certaine similitude de nom avec l'aluminium et l'alumine.

en incorporant l'aluminium à d'autres éléments (Bronzes Sendron, Secrétan, etc.).

Etant données leurs propriétés mécaniques, ces alliages peuvent être utilisés dans les chaudières et foyers de locomotives; les réservoirs à air, engrenages, tiges de piston, organes de machines installées dans tous les sous-sols humides, les mines, les fabriques de produits chimiques; pour les armes à feu, roues, engrenages, boîtiers et mécanismes de montres, pièces diverses d'automobiles; moyeux de roues de voiture; rayons de bicyclette, etc.; ils sont de plus en plus employés dans la marine et dans l'industrie des torpilles. On en fait un fil aussi résistant et plus conducteur que le fil en bronze siliceux.

Dans la bijouterie, les services de table, l'horlogerie, les applications peuvent être indéfinies, d'autant plus que certains ont l'éclat et peuvent prendre le ton mat de l'or.

Bronze aluminium-or. — M. Hunt, savant anglais estimé, a même communiqué à la Royal Society, de Londres (1), le résultat de ses expériences sur la fabrication d'un alliage d'or et d'aluminium, paraissant susceptible de rendre des services pour la fabrication des bijoux et de la monnaie. Il est formé, d'après l'auteur, de soixante-dix huit parties d'or et vingt-deux parties d'aluminium. Ces proportions seraient les seules pour lesquelles l'alliage s'effectue bien. Le produit est d'une belle couleur pourpre avec des reflets rubis et ne peut être imité.

Il est probable que des alliages analogues avec le platine et l'argent pourront être préparés et utilisés dans les instruments de physique, dans l'industrie artistique en général et que d'autres à base d'aluminium-cuivre et nickel pourraient servir d'éléments pour la monnaie de billon.

Or de Nuremberg. — Cet alliage présente la composition suivante : aluminium, 7,50; or, 2,50 et cuivre 90 0/0.

Alliage tiers argent. — Cet alliage pouvant être facilement travaillé et prendre une couleur d'argent fin, se compose de 33,3 0/0 d'argent et 66,6 d'aluminium.

---

(1) Traduction de M. le pharmacien-major Rœser, attaché à la Garde Républicaine.

Alliage dit Macadamite. — Cet alliage qui contient 70 0/0 d'aluminium, 26 de zinc et 4 de cuivre aurait une densité spécifique de 3,31. Il serait susceptible de prendre un beau poli et résisterait admirablement bien à la corrosion. Nous n'avons pas eu l'occasion d'examiner cette combinaison, citée par conséquent ici à titre de simple indication.

Alliage dit Loréor. — A base de bronze lourd d'aluminium et d'antimoine donnant le reflet de l'or cet alliage est un des plus beaux des simili-ors obtenus avec le bronze d'aluminium et se comporte très bien sous l'action du temps.

Modifications et combinaisons autres que les alliages et bronzes.

Aluminium et carbone. — On a cru pendant longtemps que l'aluminium ne pouvait se combiner avec le carbone. Cependant M Franck, en calcinant un mélange d'aluminium et de noir de fumée avait obtenu un métal qui fournissait de l'hydrogène souillé d'acétylène quand on l'attaquait par l'acide chlorhydrique.

M. Moissan est parvenu à fabriquer au four électrique un carbure d'aluminium cristallisé de formule C^3Al^4.

M. Moissan obtient ce composé en chauffant au four électrique à tube et dans un courant d'hydrogène, des nacelles de charbon remplies d'aluminium.

M. Gin a obtenu directement du carbure d'aluminium en traitant dans un creuset fermé, le fluorure d'aluminium par le carbure de calcium. La réaction est la suivante :

$$10\,Al^2Fl^6 + 12\,CaC^2 = 5\,Al^4C^3 + 12\,CaFl^2 + 9\,CFl^4.$$

Le carbure d'aluminium se présente en cristaux jaunes, transparents, de forme hexagonale, dont la densité est 2,36. Il est facilement attaqué à température plus ou moins élevée par les halogènes et les oxydants. Il décompose lentement l'eau en donnant du méthane :

$$C^3Al^4 + 12\,H^2O = 3\,CH^4 + 2\,Al^2(OH)^6$$

§ 3. — Trempe et recuit.

Trempe. — Cette opération consiste à chauffer le métal au rouge et à le refroidir brusquement dans l'eau froide ou dans un mélange réfrigérant. Il durcit d'autant plus dans ces conditions qu'il a été préalablement allié à des traces de titane, tungstène par exemple.

Trempé, il peut être recuit ou adouci par le chauffage et le refroidissement graduel. La meilleure température est un peu au-dessous du rouge-sombre.

L'aluminium titané peut subir la double trempe : cette opération consiste à chauffer le métal à une température donnée et à le refroidir brusquement dans l'eau glacée. On le chauffe ensuite à une température inférieure à celle qu'il a subie la première fois, et on le trempe de nouveau dans l'eau glacée additionnée de glycérine.

L'aluminium pur ou allié devient ainsi plus résistant aux agents atmosphériques, acides, etc.

Préparation des alliages.

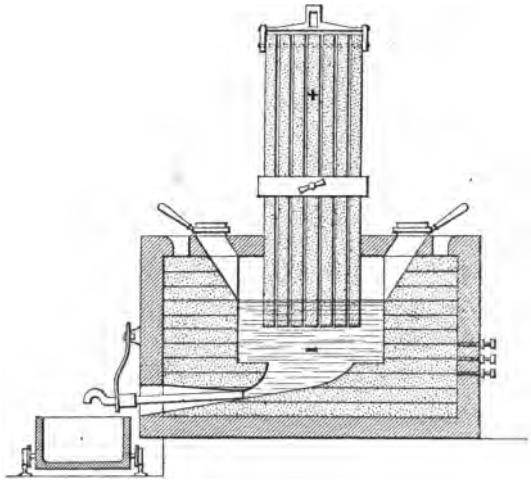
Abstraction faite des anciens procédés Cowles, Minet, très scientifiques, nous ne citerons que la préparation des alliages par le procédé Héroult, reproduit d'après Borchers.

La méthode repose, d'après les termes des brevets pris en France le 15 avril 1887, sur l'action thermique et électrolysante d'un courant électrique sur l'oxyde d'aluminium et le métal avec lequel l'aluminium doit être allié.

La manière dont le chauffage est effectué est suffisamment mise en évidence par la description suivante et la figure 17 représentant un appareil, qui a été effectivement employé par la *Schweizerische metallurgische Gesellschaft*, devenue ultérieurement l'*Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft*, à Neuhausen, en Suisse.

Une caisse, en fer ou en un autre métal, isolée du sol et ouverte supérieurement, est munie d'un épais revêtement de plaques de charbon (fig. 17) qui sont reliées entre elles au moyen d'un mastic de charbon. Ce dernier peut être, par exemple, du goudron, du sirop de sucre ou du glucose. La caisse, dans

laquelle est enfermé le bassin, doit aussi être bonne conductrice. Si l'on veut arriver à une très bonne conductibilité par contact très intime des parois extérieures en charbon du bassin avec la paroi interne de la caisse, on coule celle-ci autour du



G. 17.

creuset en charbon, et par le refroidissement on obtient le contact le plus intime avec le charbon.

Dans la caisse se trouvent un certain nombre de chevilles en cuivre, qui amènent le courant électrique négatif à l'intérieur du bassin avec une très faible résistance. Dans ce bassin plonge l'électrode positive, dont les différentes baguettes de charbon sont appliquées l'une contre l'autre, ou laissent entre elles des intervalles qui doivent alors être remplis d'une matière conductrice (cuivre ou charbon mou).

A l'extrémité supérieure, les baguettes de charbon sont maintenues par un cadre, dont l'anneau sert pour suspendre tout le système à une chaîne, à l'aide de laquelle le faisceau de charbons est mis au point (c'est-à-dire placé dans sa position) et peut être élevé au abaissé. Le cadre, entourant la périphérie du faisceau est pourvu des pièces de serrage nécessaires, telles que vis, etc., pour la fixation du câble positif.

A l'exception de l'espace nécessaire pour le mouvement vertical du faisceau de charbons, l'ouverture du bassin est recouverte par des plaques de graphite, dans lesquelles se trouvent

quelques orifices pour l'introduction des matières. Au-dessous des orifices sont aussi ménagés, si c'est nécessaire, des évidements. Ces canaux servent aussi pour la sortie des gaz dégagés dans le bassin. Les plaques mobiles, munies d'un cadre avec poignée, servent pour couvrir les orifices pendant les différentes phases de la fusion. L'espace compris entre les plaques de graphite et le bord de la caisse est rempli de poudre de charbon de bois.

Au début de l'opération, on introduit dans le bassin du cuivre, qu'il est convenable d'employer en fragments; le faisceau de charbons étant ensuite amené au contact du cuivre, le courant passe par ce dernier et le fond. Dès que le bain de cuivre liquide servant de pôle négatif est obtenu, on introduit aussi de l'alumine dans le bassin et l'on remonte un peu le faisceau. Le courant passe maintenant à travers l'alumine qui fond et se décompose. L'oxygène se rend au charbon et le brûle de sorte que l'oxyde de carbone se dégage du bassin. L'aluminium se sépare de sa combinaison oxygénée et se réunit au cuivre; du bronze d'aluminium est ainsi formé directement. On continue maintenant à alimenter le bassin à mesure que progresse la séparation électrolytique de l'aluminium, en ajoutant continuellement ou de temps en temps du cuivre et de l'alumine.

Le faisceau de charbons doit, comme on l'a dit précédemment être relevé ou abaissé selon la résistance. Ce réglage peut, du reste, aussi avoir lieu automatiquement, la chaîne à laquelle est suspendu le faisceau étant, par exemple, mise en communication avec un moteur électro-dynamique réversible (réglé par un ampèremètre), qui agit comme régulateur électrique.

Pour évacuer le bronze d'aluminium liquide rassemblé au fond du bassin, on amène au-dessous du trou de coulée la lingotière garnie intérieurement de charbon, et on retire la baguette de charbon qui ferme le trou de coulée, pour ne la remettre en place que lorsque la lingotière est pleine. On continue ensuite l'opération en abaissant encore le faisceau de charbon et ajoutant dans le bassin de nouvelles charges d'alumine et de cuivre.

Aluminium rigidifié. — On a pu obtenir de l'aluminium rigidifié, donnant :

Avant recuit, 35 à 40 kilogrammes de résistance par millimètre carré; avec allongement, 3 à 6 0/0;

Et, après recuit, 20 à 25 kilogrammes, avec 40 0/0 d'allongement.

D'après les essais à la flexion, cet aluminium résistant doit donner en moyenne, 32 à 36 kilogrammes de résistance, 20 à 22 kilogrammes de limite élastique avec un allongement de 85 0/0.

Recuit. — L'aluminium laminé, à la température de 450°, est d'une douceur remarquable et se travaille très facilement.

On lui donne toutes les formes désirables en le martelant, à l'aide de maillets en bois, sur des tas convenablement appropriés. Ce travail peut se faire à froid, ou mieux, en réchauffant légèrement le métal.

Si l'on désire après ce martelage, rendre au métal, aux endroits où il a été martelé, la douceur primitive, il suffit de recuire ces parties à la température d'environ 450°.

On peut aussi, en recuisant à une température moindre, 200° par exemple, obtenir un demi-récroui et, par suite, conserver au métal une demi-dureté, ce qui peut avoir son utilité dans certains cas.

Ce recuit peut s'opérer dans des fours spéciaux, suivant les travaux qu'on a à exécuter, de manière à pouvoir suivre la température avec un pyromètre par simple lecture.

Pour les cas où l'on n'a à recuire que des petites parties, peu volumineuses, on peut se dispenser de ces fours coûteux à établir et recuire simplement au-dessus d'un feu de poussier de charbon de bois, que l'on dispose sommairement sur une tôle dont les bords sont rabattus. Avec un peu d'habitude on arrive assez approximativement au degré de recuit que l'on a en vue d'obtenir.

CHAPITRE XI

Résumé de la production électrolytique et des propriétés de l'aluminium et de ses alliages.

De tout ce qui précède, on peut certainement conclure que si nous n'arrivons pas précisément à ce qu'on pourrait appeler l'âge de l'aluminium, nous ne nous trouvons pas moins en présence d'un progrès de première importance pour l'industrie en général et celle de notre pays en particulier.

En effet, il n'est pas douteux que, à travers la crise que traverse la vieille Europe (où se trouvaient naguère centralisées les forces du commerce et de l'industrie et qui étendait sur l'univers entier sa domination économique et sociale) apparaît nettement la concurrence aussi prochaine que redoutable des peuples jeunes et industrieux, réservoir débordant d'énergie humaine.

Aujourd'hui déjà, leur outillage mécanique et scientifique, leurs chemins de fer et canaux, leurs moyens de transports maritimes leur permettent de lutter sur nos propres marchés et dans le domaine métallurgique comme sur tous les autres terrains de la production.

Les lourds produits de la métallurgie et de la quincaillerie américaine ont fait leur apparition chez nous, en attendant que l'Inde, le Japon et la Chine même suivent cet exemple : l'es-

prit industrieux, le travail opiniâtre et la main-d'œuvre si peu coûteuse dans ces fourmilières humaines où les exigences de la vie matérielle sont réduites à leur plus simple expression, ne peuvent, en effet, amener d'autres résultats pour le vieux monde quelque peu usé et surtout si fortement divisé, en regard des besoins sans cesse croissants.

Aussi doit-on saluer, au simple point de vue social, toute évolution de nature à diminuer le tribut que nous payons à l'étranger, sous forme d'importations de produits manufacturés et quand, comme c'est le cas pour l'industrie électrolytique, cette évolution peut créer à la France une situation privilégiée, non seulement sous le rapport économique, mais encore sous le rapport de l'hygiène publique et de la défense nationale, l'hésitation ne peut être permise.

Les États-Unis apparaissent seuls en situation de rivaliser avec la France sous le rapport de la matière première comme des forces motrices naturelles utilisables pour sa fabrication.

Les États-Unis disposent des gisements de bauxite de la Géorgie, de l'Alabama et de forces motrices des plus importantes, comme celles empruntées au Niagara.

Par contre, chez nous, à côté des riches gisements exportés déjà par centaines de mille tonnes, en Allemagne, en Angleterre, en Suisse, en Belgique, se trouvent des fabriques d'alumine pure et d'aluminium, ces dernières actionnées par de puissantes chutes pouvant concentrer en des points déterminés des forces de 10 à 15000 chevaux-électriques utiles.

Notre pays se montre donc en situation exceptionnelle pour fournir aux uns le minerai, aux autres l'alumine et exporter le métal et ses dérivés même vers les pays les plus lointains.

Comme d'autre part, le nouveau métal, trois fois plus léger que tous les métaux usuels, peut les remplacer dans la plupart de leurs applications, il en résulterait pour nous une diminution correspondante dans les importations de métaux étrangers; lesquels représentent une centaine de millions de francs, au moins, sans compter les charbons nécessaires à leur traitement métallurgique.

Tout semble donc porter vers la production d'un métal appelé à remplacer, chez nous, les métaux d'importation, d'autant plus que ce nouveau métal peut être obtenu sur place,

dans les meilleures conditions possibles, grâce aux gisements abondants de matière première et aux forces naturelles pour ainsi dire illimitées qui se trouvent dans les mêmes régions.

Mais il ne faut pas pour cela partir avec les impatients, les amis maladroits qui, sous prétexte que l'on tient un corps à la fois léger et résistant, inoxydable, et pour ainsi dire inaltérable dans les conditions usuelles de la vie, voudraient d'emblée demander à ce métal né d'hier, sous un poids trois fois moindre et sans précautions ou protections aucunes, non seulement les qualités des fontes et fers, aciers et bronzes dont la découverte se perd dans l'histoire des civilisations les plus anciennes, mais encore celles de certains métaux précieux.

Certes, c'est un grand progrès, mais progrès subordonné, comme en toutes choses, à des études sérieuses selon les applications en vue et tenant compte de toutes contre-indications.

En effet, alors que dans l'industrie et le commerce, on se préoccupe dans les autres métaux et leurs dérivés de traces de corps étrangers, métalloïdes, gaz même, on ne pourrait sérieusement expérimenter l'aluminium sans un dosage préalable et rigoureux des éléments constitutifs et le temps est passé de ces essais hâtifs après lesquels on pouvait crier inconsidérément au succès ou prononcer le mot déception, faute d'une base d'appréciation scientifique, ou tout au moins technique.

Sous ces réserves, et d'une manière générale, on peut conclure hardiment à la substitution du nouveau métal à la plupart des métaux usuels, et, étant donnés les progrès et l'avenir de l'industrie électrolytique, la question se résume pour notre pays dans l'utilisation rationnelle des forces naturelles pouvant donner l'énergie nécessaire pour actionner les machines électriques destinées à la désoxydation de l'alumine, extraite, d'autre part, dans les conditions de pureté voulues des bauxites si abondantes dans certaines régions.

Or, les forces disponibles ou utilisables en France sont considérables et classées par les spécialistes comme supérieures à celles dont disposent toutes les autres nations d'Europe réunies (1).

---

(1) A la Praz, la fabrication annuelle vient d'atteindre, dit-on, le chiffre de 1500 tonnes par l'utilisation de *13000 chevaux*. L'usine primitive de Froges, avec sa turbine de 600 chevaux, semble avoir été aménagée pour la production exclusive, au

De plus, la France est incomparablement plus riche que les autres pays en minerais, puisque les gisements du Midi, seuls, semblent inépuisables et qu'à Villenayrac (Hérault) seulement, un banc de bauxite blanche, exploité et ayant déjà fourni 200000 tonnes de minerai à 20 francs la tonne, occupe une couche de huit mètres d'épaisseur dans un bassin de neuf kilomètres de large et de dix à douze kilomètres de long.

De même, dans le Var, les Bouches-du-Rhône, l'Ariège et le Puy-de-Dôme, les couches de bauxite rouge atteignent parfois des épaisseurs de 30 à 40 mètres.

L'Amérique, elle, possède diverses variétés de bauxite dans lesquelles, outre la silice et le fer, se rencontre également du titane.

Quant à la cryolithe, elle ne se trouve guère qu'au Groenland où le gisement n'est sans doute pas illimité; de plus, elle ne contient que 13 0/0 d'aluminium environ. Elle peut, nous l'avons vu, être obtenue artificiellement; mais, étant donnée sa teneur plus faible en aluminium, elle n'est guère utilisée dans l'électrolyse que comme fondant.

Le développement de la nouvelle industrie ne peut donc qu'être une source de bénéfices considérables pour la France, qui, de pays importateur des minerais et combustibles, se trouvera, par la force des choses, en mesure de lutter avantageusement contre la concurrence des autres pays et exporter à son tour non seulement le minerai, mais encore à un état de pureté parfaite, l'alumine et ses composés, ainsi que le métal déjà classé à l'étranger « *the best marked* ».

On peut, en effet, considérer le métal déjà obtenu dans les usines françaises comme présentant dès aujourd'hui un ensemble de qualités fort sérieuses. Nous avons donné plus haut les propriétés remarquables de l'aluminium et de ses alliages.

---

four électrique également, d'aciers spéciaux (à outils et autres), aciers au ferro-chrome, ferro-silicium, ferro-tungstène, ferro-molybdène, etc., sous l'habile direction de M. l'ingénieur Séjourné.

A Saint-Michel, avec les 4000 chevaux utiles, sans compter une réserve importante, la production d'aluminium s'élève à 5 ou 600 tonnes, dit-on. La Praz dispose de l'alumine de Gardanne, et Saint-Michel fabrique la soude pour l'alumine entrant dans la fabrication de l'aluminium.

CHUTES FRANÇAISES AMÉNAGÉES DEPUIS VINGT ANS

DÉSIGNATION	COURS D'EAU	UTILISATION	PUISSANCE
Jonage	Rhône.	Force motrice et éclairage	18000 HP
Le Praz.	Arc.	Électrométallurgie.	12000
Saint-Michel. . .	Arc.	—	4000
Saint-Félix . . .	Arc.	—	3000
Saint-Alban-des-Villars	Affluent de l'Arc.	—	1200
Epierre	Affluent de l'Arc.	—	1200
Froges.	Affluent de l'Isère.	—	600
Lancey.	Affluent de l'Isère.	—	3000
Chedde	Arve	Chlorate de potasse.	10000
Bellegarde. . . .	Valserine	Force motrice, éclairage, électrométallurgie.	8000
Chapareillan. . .	Cernon	Électrométallurgie, éclairage	3000
La Bathie	Arbine	Électrométallurgie.	2500
Notre-Dame-de-Briançon . . .	Eau Rousse et Merderel.	Carbure de calcium.	4000
Saint-Béron . . .	Guiers.	Électrométallurgie.	4200
Séchilienne . . .	Romanche. . . .	—	3000
Gavet-Livet . . .	Romanche. . . .	Peroxydes alcalins.	6000
Livet.	Romanche. . . .	Électrométallurgie.	6000
Rioupéroux . . .	Romanche. . . .	Pâte de bois. . . .	15000
Giffre.	Giffre.	Électrométallurgie.	8000
Le Castelet. . . .	Ariège.	Carbure de calcium.	2300
Montgirond . . .	Isère.	Soude et chlore . .	12000
Rozel	Isère	Électrométallurgie.	8000
Chutes diverses		Environ.	15000
		TOTAL.	150000 HP

CHAPITRE XII

Applications de l'aluminium.

De ce qui précède, il ressort que l'aluminium est utilisable non seulement sous le rapport de l'hygiène générale et de la mobilité des agglomérations en marche, mais encore en vue d'un rendement supérieur dans la traction, la navigation et l'industrie en général.

Il peut être employé sous trois états différents :

A l'état naturel, à l'état d'alliages légers, à l'état de bronzes.

§ 1. — Applications du métal non allié

Le métal, tel qu'il sort des usines électrolytiques, ne peut guère être utilisé que sous forme de fonte (1) pouvant permettre l'écoulement des saumons provenant des premières et dernières coulées, ceux des coulées intermédiaires, à titre généralement plus élevé, étant plutôt réservés pour la fabrication des alliages.

Sa principale utilisation sera toujours dans les aciéries pour l'absorption des gaz, ainsi qu'il est dit dans la note suivante empruntée à la revue de M. A. Minet, intitulée l'*Électrochimie :*

« La dose d'aluminium à employer dans la fabrication de l'acier varie suivant la nature de ce métal, la quantité de gaz

(1) A l'état de grenailles, il entre dans la fabrication du ferro-vanadium et du vanadium.

qu'il renferme, la température du métal au moment de la coulée, et les dimensions des lingots.

» La quantité d'aluminium à employer dans l'acier Siemens-Martin est de 56 à 140 grammes au plus par tonne d'acier.

» On peut faire ce mélange dans la poche de coulée ou mieux pendant que l'on verse le métal dans les lingotières. L'acier Bessemer peut recevoir 30 à 80 grammes de plus par tonne sans inconvénient.

» L'aluminium employé en petites quantités, calme l'ébullition de l'acier pendant la coulée, active son refroidissement et l'empêche de monter. Si l'on dépasse les doses indiquées plus haut, l'acier se solidifie rapidement, mais renferme de nombreuses soufflures.

» Le mélange de l'aluminium et de l'acier se fait sans difficulté et favorise même l'homogénéité des alliages de nickel et d'autres métaux avec l'acier (1). D'après M. J. E. Stead, les fontes obtenues ainsi avec de l'acier doux Siemens-Martin sont très belles et offrent une résistance à la traction de 32 kilogrammes par millimètre carré, tandis que le même acier sans aluminium ne donne que 16 kilogrammes, l'allongement proportionnel restant le même dans les deux cas.

» L'aluminium est un puissant réducteur: 100 parties en poids d'oxygène se combinent à 114 d'aluminium, 140 de silicium et 350 de manganèse. De plus, on ne trouve d'aluminium libre dans l'acier que s'il n'y a plus d'oxygène, ce qui n'arrive pas avec le silicium et le manganèse.

» C'est en outre un réducteur économique.

» La forme préférable à employer est celle de l'aluminium pur. Cependant, quelques métallurgistes se servent du ferro-aluminium à la dose de 5, 10 et 20 0/0 d'aluminium; il faut dans ce cas que le fer ne contienne ni soufre, ni phosphore.

» L'aluminium est encore employé avec succès dans la fonte de fer à la teneur de 500 grammes à 1 kilogramme par tonne. Il

---

(1) Dans un article intitulé : *Aluminium et nickel*, présenté à l'Académie des Sciences (19 juin 1893) et à l'Association des Sciences en 1895, se trouve détaillé un procédé français à employer pour cémenter et durcir par l'électrolyse la surface des plaques de blindage, avec une puissance et une rapidité de pénétration du carbone vraiment extraordinaires (procédé identique à celui présenté récemment par le lieutenant Davis de la marine des États-Unis).

a pour effet de faciliter la fusion et de donner à la fonte un grain plus serré; le carbone combiné est transformé en graphite pur, et la tendance du métal à se refroidir est amoindrie. Avec 2 0/0 d'aluminium, on diminue, paraît-il, le retrait de la fonte. »

En dehors de l'affinage de l'acier où il remplace avantageusement le silicium et le manganèse, il s'emploie et joue également le même rôle que le phosphore, sans avoir ses inconvénients, dans la métallurgie du nickel ainsi que dans les fonderies de bronze, partout en un mot où il faut éviter les soufflures, et donner de l'homogénéité.

Cela tient à sa propriété de s'oxyder à la fusion aussi facilement qu'il est peu oxydable aux températures peu élevées (1).

De même, il pourra être employé concurremment avec le peroxyde de manganèse pour décarburer légèrement les aciers et enlever la silice par suite de la formation de silicate d'alumine insoluble. Il se coule facilement dans les moules, en coquilles ou dans le sable et peut être employé pour les pièces les plus fines; mais, en dehors des applications dans les aciéries ou l'aluminothermie, il sera toujours indiqué d'éviter avec soin le voisinage de poussières silicieuses et ferrugineuses, de nature à remettre en question la pureté.

Mais, si c'est surtout à l'état de saumons venus de fonte que s'emploie l'aluminium dans la métallurgie de l'acier, c'est plutôt à l'état de poudre qu'il est utilisé dans la préparation du vanadium, dans l'aluminothermie, dans les couleurs au vernis à l'alcool, connues sous le nom de bronzes d'aluminium, etc.

Voici quelques-unes de ses principales applications :

1° **Aluminothermie.** — M. Hans Goldschmidt a donné le nom d'aluminothermie à une méthode fort ingénieuse permettant l'utilisation industrielle de la chaleur dégagée dans la combinaison de l'aluminium avec l'oxygène et même avec le soufre.

Si l'on considère les quantités de chaleur dégagée dans l'oxydation des divers métaux, on arrive à cette conclusion : que l'aluminium pourra prendre l'oxygène des oxydes de métaux

(1) Il n'y a guère que le vanadium qui semble agir plus activement que l'aluminium comme réducteur : ce qui s'expliquerait par la température de formation de l'acide vanadique : 3500°, en regard de celle de l'alumine : 2400° environ.

comme le fer, le manganèse, le chrome et d'autres dont la chaleur d'oxydation est notablement inférieure à celle de l'alumine, tandis qu'il sera sans action sur la magnésie, formée à partir du magnésium avec un dégagement de chaleur plus considérable. Tel est le principe de l'aluminothermie.

On se rappelle les belles expériences publiques exécutées à l'appui de ce procédé dans le pavillon de l'électrochimie de l'Exposition Universelle de 1900. Depuis, divers perfectionnements ont été apportés au mode d'opérer primitif : ce sont eux que nous allons faire connaître.

De nombreux chimistes avaient, avant M. Goldschmidt, utilisé le pouvoir réducteur de l'aluminium dans le but d'isoler certains éléments de leurs combinaisons; mais pour provoquer la réaction ils croyaient nécessaire de chauffer les corps mis en présence, ce qui présentait de multiples inconvénients.

En effet, dès que les conditions se trouvaient réalisées, la réaction se produisait aussitôt, le plus souvent avec une extrême violence amenant la perte, au moins partielle, des matières mises en œuvre et la destruction des vases, qui ne pouvaient d'autres part résister longtemps à la double action, intérieure et extérieure, d'une température extrêmement élevée.

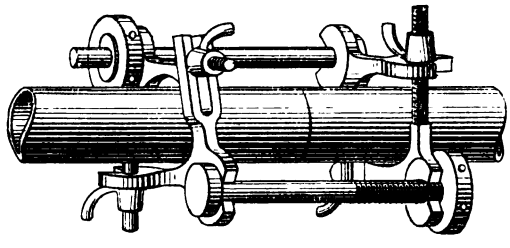


Fig. 18. — Tubes réunis par des tirants pour souder à l'aluminothermie.

Ce qui fait l'originalité dn procédé Goldschmidt, c'est que les réactions ont lieu sans qu'il soit utile de chauffer, la chaleur nécessaire étant fournie par la réaction elle-même.

Les métaux sont, en outre, préparés aisément à l'état libre, tandis que dans les essais antérieurs on obtenait le plus souvent un alliage d'aluminium et du métal mis en liberté. M. Goldschmidt a montré qu'il suffisait d'amorcer la réaction en un point, pour la voir se propager dans toute la masse, avec production d'une quantité de chaleur du même ordre de

grandeur que celle réalisée avec un four électrique, d'où le nom de four électrique secondaire donné par l'auteur au vase dans lequel a lieu la réaction.

Pour que ces deux appareils fonctionnent d'une façon identique, il suffit de ménager à la partie inférieure du vase deux ouvertures laissant échapper l'alumine et le métal liquides, tandis que l'on introduit, d'une manière continue, le mélange actif à la partie supérieure du four.

Ce dernier est constitué par un creuset ordinaire en terre réfractaire, garni intérieurement d'un revêtement en magnésie. La réaction est provoquée par une amorce formée de poudre d'aluminium et de bioxyde de baryum pulvérisé. Ces matières sont mélangées avec précautions sur une feuille de papier au moyen d'une baguette de bois et agglomérées avec un agglutinant quelconque sous la forme d'une petite boule dans laquelle est inséré un ruban de magnésium servant à l'allumage. La cartouche ainsi constituée est d'un maniement commode. On la pose à la surface du mélange en l'enfonçant un peu au besoin, mais de façon que l'extrémité du ruban de magnésium se trouve en dehors du creuset.

L'aluminium est employé, suivant le cas, en grains ou en poudre. Celle-ci se trouve dans le commerce sous le nom de poudre à bronzer en deux états différents de ténuité désignés par les numéros 1 et 2. Cette poudre, obtenu par broyage de l'aluminium en feuilles minces, est enduite de matière grasse et doit être purifiée, par un lavage à l'essence de pétrole ou par agitation avec une solution de carbonate de soude.

La vitesse de la réaction dépend de la chaleur dégagée et de l'état du mélange, les conditions de la réaction se trouvant modifiées quand on emploie l'aluminium sous l'une ou l'autre des formes indiquées plus haut, et quand le métal que l'on veut isoler est pris à des termes différents d'oxydation. C'est ainsi que l'on peut régler la marche d'une opération par l'emploi d'un mélange habituellement constitué de divers oxydes d'un même métal. On conçoit qu'il est possible de réaliser au moyen du procédé Goldschmidt la préparation industrielle de divers métaux qui jusqu'alors avaient été obtenus plus ou moins difficilement, ou renfermant toujours une certaine quantité de carbone, comme le fer par exemple.

C'est ainsi qu'il y a lieu de signaler particulièrement la préparation du manganèse et surtout celle du chrome. Ces métaux sont obtenus aisément (100 kilogrammes de chrome en vingt-cinq minutes) à l'état pur, et dans ces conditions se conservent très bien à l'air. Le chrome, exempt de carbone, peut rendre de grands services en métallurgie pour la préparation des aciers chromés à teneur élevée.

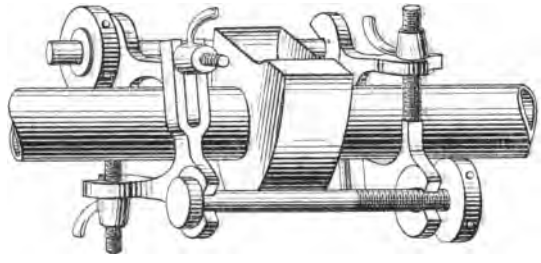


FIG. 19. — Enveloppe en tôle entourant la partie à souder pour l'aluminothermie.

En outre, la scorie d'alumine, qui se produit dans la réaction, présente une dureté plus grande que le corindon naturel. Cette matière, désignée par le mot corubis, qui a été déposé, peut être employée à la taille et à l'aiguisage sous forme de meules et de grains de toutes grosseurs. Enfin, et ce n'est pas le moindre intérêt du procédé Goldschmidt, on peut l'appliquer à la production des hautes températures, utilisant ainsi les calories dégagées dans l'oxydation de l'aluminium.

L'aluminium brûle, il est vrai, assez difficilement au contact de l'oxygène gazeux; cependant la combustion devient facile quand le métal se présente en poudre ou en feuilles battues.

L'air ou l'oxygène liquides facilitent beaucoup la combustion, et cette remarque a permis à M. Stavenhagen d'obtenir des résultats intéressants, notamment en ce qui concerne la préparation du tungstène, du molybdène et de l'uranium, et en général des métaux très réfractaires que cet artifice permet d'obtenir à l'état fondu.

Au lieu de prendre comme comburant l'oxygène, il est plus économique de s'adresser à un oxyde métallique, l'oxyde de fer par exemple.

Au moyen de dispositifs très simples, on peut chauffer un métal au rouge ou le souder.

Par exemple, pour porter un rivet au rouge, on le dispose au sein du mélange calorifique additionné de sable, au moyen de la cartouche on détermine la réaction et, celle-ci effectuée, le rivet est rouge et prêt pour l'usage.

Pour effectuer une soudure, on place à la surface de contact des deux pièces métalliques un peu de soudure avec un décapant comme le borax. Le système est plongé dans le mélange actif additionné et entouré de sable.

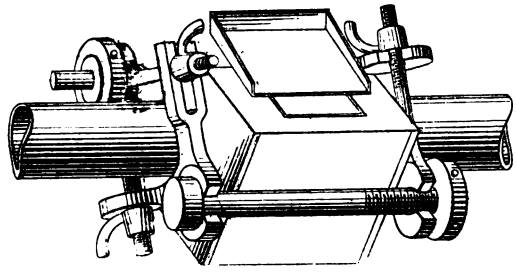


Fig. 20. — Moule avec plaque protectrice pour soudure de deux tuyaux par l'aluminothermie.

Une fois la réaction accomplie, la scorie se sépare aisément et les deux pièces sont soudées. La soudure d'un tube de cuivre de 25 centimètres de diamètre exige 0 fr. 15 c. d'aluminium. Quand il s'agit d'effectuer l'union de pièces en fer ou en acier, on a recours à la soudure autogène. Les deux pièces étant maintenues en contact au moyen de tirants à vis, comme le montre la figure 18, on adapte au système un moule en tôle brasqué avec du sable à mouler *(fig. 19)*. Le fer est préparé à part dans un creuset, et on coule dans le moule la masse liquide. La soudure s'effectue d'une manière absolue sur la totalité du profil, et l'opération se fait toujours aussi simplement, que la position des tuyaux soit horizontale ou verticale. Seule la forme du moule change, ainsi que la position du trou de coulée *(fig. 21)*.

Le procédé est économique et fournit des tubes soudés pouvant résister à de fortes pressions (400 atmosphères).

D'après les renseignements fournit par M. Goldschmidt, la soudure aluminothermique d'un tube de fer de 50 millimètres coûte environ 2 fr. 50 c. à 3 fr. 75 c., tandis qu'un bon joint reviendrait à 6 fr. 20 c. et même davantage.

La méthode présente un avantage indiscutable pour la soudure des rails de tramways électriques, qu'elle permet d'effec-

tuer dans des conditions beaucoup moins onéreuses que par tout autre procédé connu : c'est par une méthode analogue que l'on a, l'été dernier, soudé les rails du tramways électrique qui monte de Montreuil-sous-Bois à Rosny.

Enfin, un dernier exemple pour montrer tout l'intérêt que présente cette soudure aluminothermique : si pendant la traversée d'un transatlantique l'arbre de couche vient à se briser, si même il ne se produit qu'une simple fêlure due à la présence d'une paille, l'hélice est immobilisée et le paquebot éprouve alors dans sa marche un retard inquiétant. Mais s'il possède dans ses cales quelques kilogrammes du mélange Goldschmidt ; s'il possède, en outre, quatre tirants et un moule en tôle approprié à la grosseur de l'arbre, rien ne lui sera plus facile que de réunir, de souder solidement les deux parties brisées ; l'opération peut se faire en moins d'une heure et l'arbre de couche redevient aussi solide, aussi résistant qu'au départ.

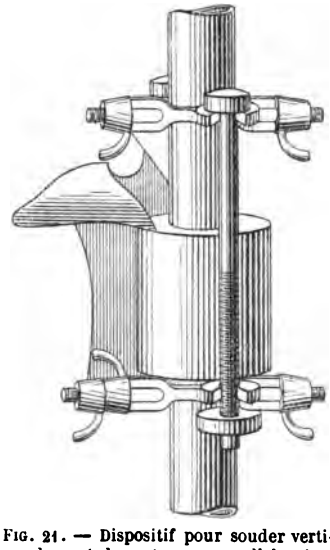


FIG. 21. — Dispositif pour souder verticalement deux tuyaux par l'aluminothermie.

Telles sont actuellement les principales applications de l'aluminothermie ; elles suffisent amplement à établir la valeur de la découverte de M. Goldschmidt.

2° Soudage des métaux. — Une seconde application est celle qui a trait au soudage des métaux ; on peut ainsi, sur place, opérer la soudure des rails.

A Essen, Brunswick et Hanovre, les rails de tramways sont soudés par ce système. On peut même opérer une jonction de deux tuyaux : voici à titre d'exemple, la description des opérations à effectuer pour la soudure de deux tubes de fer ; on commence d'abord par nettoyer soigneusement les parties à réunir ; on joint les deux tubes en les maintenant dans des pinces réunies par des tirants à vis qui unissent intimement les deux branches à souder et en même temps permettent de forcer

le serrage lorsque le point de fusion est atteint. On entoure le tube d'un moule en tôle destiné à recevoir la coulée du mélange chauffé. Pour opérer le soudage, on met dans le creuset nne petite quantité de thermie; on provoque la réaction au moyen d'une cartouche d'allumage; on ajoute alors progressivement la quantité convenable de thermie. Lorsque la température du tube est maxima, on force sur les vis et les deux parties du tube s'unissent alors intimement.

L'opération, très simple, réussit très bien lorsque l'opérateur a un peu de pratique, et la soudure opérée est assez parfaite pour être presque invisible.

3° Préparation du vanadium. — En ce qui concerne spécialement la préparation du vanadium, il est reconnu que ce métal, autrefois d'un prix inabordable, peut être obtenu aujourd'hui des cendres de charbons de l'Amérique du Sud (Pérou.) Une usine est même en voie d'installation aux environs de Colombes, croyons-nous, pour opérer industriellement ce traitement qui ne peut manquer d'être rémunérateur à cause des propriétés si remarquables de ce métal qui pourra être livré à 100 francs le kilogramme au lieu de l'ancien prix : 100 francs le gramme, soit mille fois moins cher.

Employé pour durcir l'acier, le vanadium semble agir comme réducteur, plus activement encore que l'aluminium puisque la température de formation de l'acide vanadique est d'environ 3500° tandis que celle de l'aluminium est de 2400° environ. Il s'obtient en plaçant dans un four de magnésie (1) une certaine quantité d'aluminium, d'oxyde de fer et d'acide vanadique. La réaction est commencée par la combustion de la poudre d'aluminium et la chaleur se communiquant à la masse d'aluminium, réduit à la fois, l'acide vanadique et le sesquioxyde de fer donnant le ferro-vanadium qui sert aux alliages d'acier.

Pour les alliages d'aluminium, il faudrait nécessairement supprimer l'oxyde de fer, à moins qu'il ne s'agisse d'applications dans les hauts fourneaux spécialement.

---

(1) Ces fours paraissent avoir été imaginés par des ingénieurs français employés aux mines de Grèce.

4° Couleurs à base de poudre d'aluminium. — Ces couleurs, connues sous le nom de bronze d'aluminium, obtenues par le simple mélange de poudre métallique finement préparée, avec un vernis à l'alcool, présentent l'aspect et l'éclat de l'argent. Elles sont inaltérables, très appréciées dans la peinture sur bois, plâtre et surtout, sur les métaux,

En poudre, comme il s'obtient à la suite de certains traitements à l'autoclave, il est utilisable, incorporé à des excipients divers, pour le bronzage ou peinture métallique (1) qui présente, entre autres avantages, celui de rester blanche, même au contact des émanations sulfhydriques : qualité que l'on ne peut attendre de la poudre d'argent, de la céruse, du bismuth, etc., et qui, jusqu'ici, ne s'obtenait guère qu'avec du blanc de zinc. Une peinture de ce genre a été essayée sur la tour Eiffel.

Voici une formule de peinture à l'aluminium ayant donné d'excellents résultats en Amérique :

On fait dissoudre de la gomme laque et du borax en les portant à l'ébullition; on y mêle un alcali : soude ou ammoniaque, la gomme laque ne dépassant pas 15 à 20 0/0 du poids total. On colore à l'aide d'aniline, puis on incorpore à ce mélange de l'aluminium en poudre jusqu'à ce qu'on ait une peinture coulante. On peut alors l'appliquer sur le bois, les métaux, le papier, etc. Elle demeure brillante et imperméable. Pour la rendre lisse à souhait, il est nécessaire d'ajouter au mélange un peu de glycérine.

Il peut également être utilisé dans les mêmes conditions d'inaltérabilité sous forme de dépôts galvaniques, comme cela a été fait aux États-Unis, pour argenter les coupoles de monuments publics, les rampes, grilles, balcons, etc.

5° Purification du sucre de betterave. — La poudre d'aluminium, à très faible dose, est également utilisée dans la clarification des jus sucrés industriels, et le procédé a été déjà appliqué dans le Nord de la France.

Les principaux avantages de ce traitement sont les suivants : les sirops obtenus sont fortement décolorés et légèrement épurés; de plus la vitesse de concentration est sensiblement

(1) Vernis à l'alcool.

augmentée. D'autre part, le dégagement gazeux produit par la réaction du métal sur le jus facilite l'ébullition et empêche la surchauffe, d'autre part le réactif est un anti-incrustant extrêment énergique et évite la formation d'un dépôt sur les parois des tubes de chauffe ; le dépôt, au lieu d'être adhérent, reste en suspension dans le sirop.

Nous espérons que les industriels bien inspirés qui mettront en pratique le procédé dans la présente campagne en confirmeront les avantages.

6° Papier recouvert de poudre d'aluminium. — On trouve dans le commerce du papier granité argent d'après le principe de M. Drouilly, chimiste français, qui s'est livré à de sérieuses études sur l'aluminium.

Ce papier semble trouver son emploi dans les ateliers, écoles, théâtres, bureaux, etc., partout en un mot où, sans recourir au peintre, on peut avoir, dans un but d'hygiène élémentaire, à laver les murs, les antiseptiser ou les désinfecter au besoin. Il ne saurait être noirci par l'action du gaz ou les émanations sulfureuses ou sulfhydriques.

L'aluminium employé dans la production du phosphore. — Le professeur Rossel, de Berne, a découvert une propriété de l'aluminium qui, sans doute, aura une importante application en particulier dans les travaux qui s'effectuent dans les laboratoires de chimie.

On sait que le phosphore, eu égard aux modes de préparation qu'il exige, spécialement par suite du degré élevé de chaleur qu'il est nécessaire d'employer pour sa fabrication, ne peut être produit avec les moyens dont disposent les laboratoires ; il faut donc employer celui provenant des fabriques qui n'est pas absolument pur et à un prix assez élevé. L'avantage à retirer de la découverte de M. Rossel peut donc devenir très important.

En réchauffant dans un creuset en porcelaine un mélange d'aluminium en lamelles fines et de substances contenant de l'acide phosphorique, M. Rossel vit de petites flammes se dégager du liquide en fusion. Il renouvela l'expérience dans un tube fermé, afin d'éviter la combustion du gaz que, par les

gouttes qui se condensèrent au fond du dit tube, il reconnut être du phosphore.

L'aluminium, mélangé à un sel phosphoreux et porté à une température convenable, exerce conséquemment son action réductrice en enlevant l'oxygène du sel et en isolant le phosphore.

Le phosphore produit à l'aide de ce système ne dépassant pas les 30 0/0 de celui contenu dans le sel, M. Rossel étudia un autre moyen plus sûr et plus utile. L'opération s'effectue dès lors en unissant par parties équivalentes l'aluminium en poudre à du métaphosphate de soude et à de la silice, et en réchauffant le mélange dans un tube de verre dont l'air est expulsé par un courant continu de gaz.

L'aluminium dans la chimie photographique. — Le chimiste français Clemmon indique une méthode pour précipiter et recueillir l'or et l'argent contenus dans les bains photographiques employés et devenus hors de service.

On acidule fortement le bain au moyen d'acide chlorhydrique et on ajoute un morceau d'aluminium; on voit alors se former rapidement des bulles qui, augmentant peu à peu, donnent au liquide l'aspect d'un bouillon en ébullition. A la suite de cette réaction, l'or s'est déposé à l'état métallique sur l'aluminium et on peut l'enlever petit à petit à l'aide d'une brosse, en frottant légèrement; l'argent a été précipité au fond du vase sous forme de chlorure.

Le professeur Glasenapp conseille l'emploi de l'aluminium au lieu de magnésium pour la production de l'éclairage employé dans les opérations photographiques de nuit : il donne une lumière plus intense et son prix est de beaucoup inférieur à celui du magnésium. Ce professeur propose la formule suivante :

Aluminium pulvérisé	21,7	parties
Sulfure d'antimoine.	13,8	—
Chlorate de potasse	64,5	—

§ 2. — Applications du métal écroui.

Quant aux applications sous forme de laminés ou profilés, il sera nécessaire de les subordonner au choix d'un métal au titre de 990 à 995 millièmes, travaillé à l'abri des poussières ferrugineuses et autres et en surveillant les recuits, qui diminuent la résistance mécanique, ainsi que le décapage qui devra se faire en trempant successivement le métal pendant une à deux minutes seulement dans des solutions de potasse et d'acide azotique.

Parmi les corps étrangers, ceux qui présentent le plus d'inconvénient au point de vue des actions chimiques et corrosives, sont : le sodium, l'alumine de non-réduction ou réoxydation, les gaz, et au point de vue des actions électro-chimiques : le zinc, l'étain, le fer principalement.

Sous ces réserves, il sera toujours facile de parer aux inconvénients possibles par des vernis protecteurs, ou autres mesures analogues, comme cela se fait, du reste, pour les autres métaux usuels, et cela d'autant plus que le métal de choix, sortant des usines françaises et américaines, se rapproche sensiblement, par l'ensemble des propriétés, du métal pur isolé par Sainte-Claire Deville.

Mais la protection ne sera guère indiquée que pour les applications dans la marine ou lorsqu'il s'agira de l'utilisation de certains alliages dans lesquels entreraient des métaux comme le fer, le zinc, l'étain, de nature à donner facilement naissance à des actions électro-chimiques, au contact de la molécule aluminium.

Emplois industriels sous forme d'objets fabriqués. — Après les emplois d'ordre plutôt chimique signalés plus haut, viennent, avec ou sans préservation: nickelage, argenture, dorure, etc., les transformations avec des moules appropriés, en supports, colonnes, socles, serres, vérandas, balcons, grilles et portes en métal fondu, forgé, pièces d'automobiles, lits et encadrements, bassins, baignoires, pièces d'ornementation et d'orfèvrerie, ustensiles culinaires et industriels, surtouts de

table, garnitures de cheminées, statues, bas-reliefs, appliques, suspensions, cloches, etc.

On peut aussi transformer en objets fabriqués des tubes de métal fondu et leur donner de la résistance par l'écrouissage consécutif.

Transmissions et canalisations électriques. — Étant donnés les rapports de conductibilité électrique de l'aluminium et du cuivre, consignés ci-dessous, nous ferons remarquer que l'aluminium présente en outre l'avantage d'être très peu magnétique, et que les conclusions ci-dessous résumées, en ce qui concerne la production dans notre pays, sont plutôt en deçà de la réalité puisque les facteurs de conductibilité, résistance électrique et à la traction du fil téléphonique d'aluminium ont été calculés sur un métal à 0,985 de pureté seulement, alors que les usines françaises produisent couramment au cours de 0,990 et 0,995.

En comparant le cuivre et l'aluminium, on reconnaît les propriétés caractéristiques suivantes :

	Aluminium.	Cuivre.
Poids spécifique	2,68	8,93
Poids spécifique relatif	1,00	3,33
Conductibilité	54 à 63	96 à 99
Résistance à la traction par mm²	16,87 à 36,665	21,10 à 45,70

Les différentes qualités des métaux qu'on trouve sur le marché et, par conséquent, leurs différentes caractéristiques électriques et mécaniques empêchent d'ailleurs de donner des rapports absolus. Les sections des conducteurs en aluminium et en cuivre sont en raison inverse de leur conductibilité $\frac{S_a}{S_c} = \frac{97}{61} = 1,59$ en moyenne (ce rapport est approximativement le même que celui des sections de deux fils séparés de un numéro de la jauge Brown et Shape). Pour obtenir la même conductibilité, on prendra donc un fil de cuivre de section 1 et un fil d'alumi-

(1) *The Journal of Electricity, Power and Gaz.*

nium de 1,59. Au point de vue de la charge de rupture, le rapport 1,59 ne se conserve pas.

Le poids par kilomètre de fil d'aluminium est de 47,77 0/0 du poids de la même longueur de fil de cuivre d'égale conductibilité.

Les conducteurs d'aluminium et de cuivre coûteront donc le même prix par kilomètre, si le prix du kilogramme de cuivre est 47,77 0/0 du prix du kilogramme d'aluminium.

La résistance à la traction de l'aluminium pur, commercial (98,50 0/0) est moindre que celle de l'aluminium allié avec une faible quantité d'un autre métal. L'aluminium pur commercial a une conductibilité de 63 0/0 à l'échelle de Mathiessen; cette conductibilité est réduite à 58 0/0 pour un alliage de 1 0/0; à 54 pour un alliage à 2 0/0.

Quand on emploie l'aluminium pour faire des barres omnibus de station centrale, la question de résistance mécanique n'intervient pas, et on peut employer l'aluminium pur. Des barres étirées de 25×152 millimètres peuvent atteindre une longueur de $4^m,25$; des barres de 12×100 millimètres peuvent atteindre $7^m,90$ et des barres de plus faible section peuvent être obtenues un peu plus longues.

Pour des transports de force, il n'est pas opportun de se servir d'aluminium de moins de 59 0/0 de conductibilité.

Pour le fil téléphonique, on réduit un peu la conductibilité afin de gagner sur la résistance à la traction.

La soudure du fil n'est pas à recommander. Des fils de faible diamètre peuvent être reliés en tortillant leurs extrémités l'une avec l'autre, comme on fait d'ordinaire dans les canalisations télégraphiques ou téléphoniques. On fait aussi des joints avec des manchons ou avec des tubes, ou encore avec des feuilles de métal enroulées; ces procédés donnent satisfaction pour les fils de gros diamètre dont on ne peut tortiller les extrémités. Pour les câbles, on soude les bouts dans un manchon de bronze ou d'aluminium, comme avec des câbles de cuivre.

Il est bon de ne pas se servir de fil trop dur pour attacher la ligne aux isolateurs, car il en résulterait une dentelure du conducteur à l'endroit des points d'attache, et le conducteur se romprait en ces points de moindre résistance,

Le coefficient de dilatation de l'aluminium est de 0,0000231 ; donc, si on tend une ligne aux températures ordinaires, il faut prévoir qu'une légère augmentation de flèche pourra se produire.

Il faut noter que le poids de la neige et de la glace est pratiquement le même sur les fils, qu'ils soient de faible ou de forte section.

L'air sec n'agissant pas sur l'aluminium, l'air humide peut favoriser la formation d'une gaîne d'alumine extrêmement protectrice, parce qu'elle résiste aux agents acides et atmosphériques. Quant aux gaz acides de nature sulfureuse qui s'échappent des foyers des locomotives, ils sont sans action sur l'aluminium.

La self-induction d'un circuit est moindre avec un gros fil qu'avec des fils fins ; et elle est minima quand les conducteurs sont continus. Si les fils sont à la même distance dans une ligne en aluminium et dans une ligne en cuivre, la self-induction sera moindre pour la première ; mais, en somme, la différence est petite. Si la distance entre les fils d'une ligne en aluminium est 25 0/0 plus grande que celle entre les fils de la ligne en cuivre correspondante, la self-induction est la même dans les deux cas.

On sait que la densité d'un courant alternatif n'est pas constante dans la section d'un conducteur, elle est maxima vers la surface : l'accroissement de densité dans des fils de diamètre inférieur à 11 ou 18 millimètres est si faible qu'on peut ne pas en tenir compte ; il est le même que pour un conducteur de même conductibilité.

A cause de la valeur de la surface extérieure, une ligne de cuivre chauffe plus que la ligne d'aluminium de même conductibilité; or l'augmentation de la température accroît la résistance, de sorte que si le conducteur de cuivre était de même résistance que le conducteur d'aluminium lorsque la ligne ne portait pas de courant, la résistance du premier est plus grande quand la ligne travaille.

La capacité d'un circuit est plus grande avec de gros fils qu'avec des fils fins, le courant de charge d'un circuit d'aluminium est par conséquent plus considérable que celui du circuit de cuivre correspondant ; si, dans les deux cas, la distance entre les fils est la même, l'augmentation est d'environ 10 0/0.

La surface extérieure dont la grandeur était avantageuse au point de vue de l'échauffement du conducteur d'aluminium est un peu nuisible quand il s'agit d'isoler le fil ; le conducteur en aluminium nécessite 17,5 0/0 d'isolant de plus que le conducteur de cuivre équivalent: cependant avec des isolants de bonne qualité, l'aluminium couvert est encore plus léger que le cuivre couvert.

La « Hartford Electric Co » va employer l'aluminium pour transmettre 10000 volts à $17^{km},5$ par courants triphasés.

Elle doit se servir de câbles à 7 brins, chaque brin étant composé de 7 fils N° 11 de la jauge B et S. On gagnera ainsi près de 18000 francs sur le prix que coûterait la même ligne en cuivre.

§ 3. — Applications des alliages d'aluminium.

Si c'est par milliers de tonnes que s'utilise déjà l'aluminium, il ne faut pas perdre de vue que, en dehors des hauts fourneaux qui utilisent la fonte, c'est surtout aux alliages sous leurs diverses formes que s'adresse l'industrie. Mais ici, le métal devra d'abord présenter une grande pureté et être classé à l'analyse comme exempt de sodium, cause d'altération, et ne contenir pas plus de 0,3 à 0,4 de fer et silicium, avec traces seulement d'alumine, phosphore, etc.; le tout en attendant de nouveaux perfectionnements qui permettent d'atteindre un titre encore plus élevé.

Les alliages devront être obtenus généralement avec de très faibles proportions de cuivre, nickel, tungstène, à l'exclusion des éléments : fer, étain, plomb, zinc. Ils devront être homogènes pour éviter les actions galvaniques et ne pas perfectionner celles d'ordre électro-chimique.

Sous le rapport des propriétés physiques et mécaniques, ces combinaisons, on l'a vu, sont supérieures au métal pur et, comme lui, gagnent considérablement encore par l'écrouissage, le martelage à froid, le laminage qui se fait aujourd'hui avec des laminoirs extrêmement durs permettant d'éliminer les scories restant dans la masse poreuse, tout en resserant celle-ci, et modifiant avantageusement sa texture sans que la densité soit pour cela augmentée d'une manière sensible.

Laminés. — Le grain des laminés, en général, est serré d'autant plus qu'ils ont été passés à des laminoirs plus durs et, pour l'aluminium, ils ne sauraient l'être trop ; la contexture est fibreuse. L'expérience démontrera si la texture se modifie et devient grenue comme dans les dérivés du fer.

Tubes. — On arrive à augmenter considérablement la résistance par l'écrouissage des laminés et par la transformation de ces alliages en tubes obtenus par étirage, en partant de simples disques, et, comme on peut aujourd'hui les courber de la façon la plus hardie, ainsi que cela se fait aux Forges de Sedan, on prévoit de ce chef un champ d'applications très vaste. Ils peuvent servir en l'état, dans les bicyclettes, rampes de voitures, sleeping-cars et sous forme de poutrelles obtenues par juxtaposition de plusieurs tubes, ou encore contournés en serpentins pour *condensateurs*, par exemple.

Certains ont déjà été employés dans les chaudières, même pour la Marine, en Allemagne, et l'on cite un torpilleur à Kiel dans lequel ils sont en service depuis plusieurs années ; mais l'industrie française ne semble pas encore avoir atteint de semblables résultats. Aussi, si l'on considère les précautions spécialement nécessitées pour la confection des tubes en cuivre pur que l'on obtient surtout par dépôts électrolytiques et qui ne sont reçus par les laboratoires de la Marine, par exemple, qu'après avoir subi les épreuves les plus délicates, dont une véritable auscultation de toutes les parties, il semble prudent de ne pas encore aborder ce genre d'applications de l'aluminium, en tant qu'il s'agira de se prémunir contre des résistances à de fortes pressions, comme cela a lieu dans les machines à vapeur ou à air comprimé.

Fils. — Les fils d'alliages légers comme ceux d'aluminium peuvent avantageusement être utilisés pour diverses applications depuis les mailles les plus fines pour objets d'art, passementerie, filtres et, jusqu'aux plus fortes chaînes en passant par les dimensions de fils télégraphiques, avec précautions spéciales au voisinage de la mer.

Ustensiles alimentaires. — Dans le domaine de l'alimenta-

tion en général et particulièrement pour ce qui concerne les ustensiles culinaires et de réfectoire (1), on peut évaluer l'allégement aux trois cinquièmes du poids des objets similaires en tôle de fer battu, étamé, et à 50 0/0 pour le matériel exposé à de grands chocs, à des recuits répétés, comme cela arrive en campagne ou en exploration : cuisson des aliments, torréfaction du café.

Cet allégement sera plus sensible encore sur les ustensiles en tôle émaillée, en cuivre étamé, et hors de toutes proportions avec le matériel similaire en fonte et en étain, généralement employés sur une grande épaisseur : ce qui ne serait pas utile avec les laminés d'aluminium à 3 0/0 de cuivre bien conditionnés.

Comparés aux ustensiles en verre, ceux d'aluminium présentent en outre le grand avantage de n'être pas fragiles, tout en étant encore plus légers, à cause des fonds de verre, généralement très épais.

On sait, en effet, que les récipients ordinaires en verre ou en poterie de 1 litre, 2 litres, 4 litres, pèsent respectivement $0^{gr},450$, $0^{gr},850$ et $1^{kg},900$, en moyenne, alors que ceux en aluminium ne pèsent que $0^{gr},250$, $0^{gr},350$ et $0^{gr},900$.

De même pour les récipients en faïence, aux capacités ci-dessus désignées et pesant $0^{gr},750$, $0^{gr},900$ et $2^{kg},800$, ils ne pourront, chaque fois que le contenu le comportera, qu'être avantageusement remplacés comme poids et durée par leurs similaires en métal, sans compter la suppression de la couche de vernis généralement à base de plomb.

Comparés aux ustensiles en bois : tonnellerie en général, les récipients en aluminium présentent le grand avantage de supprimer les fuites causées par la sécheresse, les chocs, les trous de vrille mal refermés et la porosité de la masse dans laquelle

(1) Les carafons si fragiles des hopitaux, de l'Assistance publique, des pensions, cantines, etc., pourront être préservés des chocs et durer indéfiniment, en gardant leurs qualités de transparence si appréciables pour la consommation des vins et autres boissons, par une simple petite armature en treillis d'aluminium enchâssant le fond et le goulot. Quant aux ustensiles culinaires, M. Drouet a constaté, comme M. Japy, qu'ils doivent être assez épais, 1 à 2 millimètres pour les fonds, après martelage.

Quant aux gourdes et bidons, l'industrie française, en particulier MM. C. Thiébaut, Japy, Pinchart-Deny fabriquent des modèles aussi commodes qu'élégants, sans toutefois marteler le métal comme cela se fait aux anciens ateliers Briffault, en vue d'une solidité beaucoup plus grande.

s'emmagasinent les germes qui constituent en certains cas, pour l'eau de consommation principalement, de véritables milieux de culture qu'il est difficile, dans la pratique, de surveiller et de détruire malgré les nombreuses méthodes d'asepsie et d'antisepsie connues.

De plus, ils ne demandent à être ni étamés, ni émaillés, ni vernis; tout au plus pourrait-on imprégner les parties internes d'un simple vernis à l'albumine du blanc d'œufs qu'il suffit d'appliquer à chaud.

Un inconvénient est l'absence de soudures autogènes, celles à base d'étain et plomb devant être rejetées (les premières seules pouvant cependant être utilisées *à titre provisoire*); mais, en cas de besoin urgent, le sertissage ou le rivetage peuvent suffire pour des réparations urgentes, en campagne, par exemple, même avec des parties constituées en métal différent et la malléabilité marquée de l'aluminium permettant le rapprochement des trous de petite dimension par simple martelage.

Comme procédé de fabrication, nous préférerions l'emboutissage, chaque fois qu'il sera possible, à l'exclusion des soudures généralement imparfaites.

On a pu, tant le métal et ses alliages sont malléables, obtenir par ce mode de fabrication des récipients de la contenance de 6 et 8 litres et des gourdes de 2 litres d'une seule pièce.

Quand l'emboutissage ne sera pas possible, l'agrafage ou plutôt le double agrafage pourra donner aussi d'excellents résultats : ce sera le cas de la tonnellerie mécanique dont deux fonds pourraient être emboutis séparément et agrafés par le milieu, des alambics des récipients à lait, vins, sirops, tisanes, pour hôpitaux, des marmites, etc.

Le rivetage devra toujours se faire en aluminium de préférence au fer, à l'acier ou au cuivre pour les raisons données ci-dessus.

D'autre part, le métal devra être décapé par un double traitement *très rapide*, par exemple aux alcalins et à l'acide azotique ou sulfurique, *à l'exclusion d'acide chlorhydrique ou composés chlorés* ou encore par d'autres méthodes données dans le cours du travail. Il pourra être plaqué cuivre à l'intérieur si l'on veut conserver aux ustensiles l'éclat du cuivre et inversement, le cuivre pourra être plaqué aluminium à l'intérieur, à l'instar

des similaires en plaqué-cuivre, en vogue à un moment, mais réellement trop coûteux. En aucun cas il ne comportera de soudures ou étamages plus ou moins plombifères.

Transmissions d'énergie électrique. — Les alliages à 3 0/0 de cuivre, obtenus avec de l'aluminium aussi pur que possible, semblent particulièrement indiqués pour les transmissions de courants, réalisant la double économie de dépenses en matière première et en frais de transport, puisque 1 kilogramme d'alliage léger et homogène d'aluminium à 3 francs peut remplacer 2 kilogrammes de cuivre à 2 fr. 25.

La ligne de Snoqualmie Falls, de 54 kilomètres de longueur, transporte 12000 chevaux à l'aide d'un conducteur composé de 98,5 0/0 d'aluminium et de 1,5 0/0 de cuivre, ce dernier métal étant ajouté afin de permettre des espacements de poteaux de 40 mètres.

On a essayé avec succès ces alliages légers pour les canalisations téléphoniques à New-York.

Rien ne s'oppose donc à ce que l'on procède à ces différents essais, soit en France, soit aux colonies, principalement dans les voies de pénétration à l'étude un peu partout (1).

Aérostation, cyclisme. — Dans l'utilisation de ces alliages pour les aérostats, la bicyclette, il semblera préférable, en attendant la soudure autogène, de se servir simplement de tubes recourbés, puisque les soudures ou la brasure viendraient précisément s'appliquer aux points de fatigue et pourraient, sous l'action de l'humidité persistante, par exemple, occasionner certains mécomptes dus à la présence de l'étain, du zinc, du cadmium, etc.

Chirurgie. — Dans les diverses branches de la chirurgie, les applications demandent des précautions spéciales, à cause de l'alcalinité de la salive et de la chloruration des liquides physiologiques.

Ainsi, pour les appareils de prothèse dentaire, de trachéotomie et autres, quoique l'aluminium n'attaque pas la gutta-

---

(1) En particulier en France : câbles Charpentier-Page, figurant à l'Exposition de 1900.

percha ou le caoutchouc et ne soit pas attaqué par les solutions boriquées et phéniquées, on pourra néanmoins les recouvrir, en certains cas, de couches formées par d'autres métaux.

Ces précautions deviendraient inutiles lorsqu'il s'agirait de bras, de jambes mécaniques, de gouttières, attelles, etc., etc.

Métallothérapie. — Dans la métallothérapie, des bagues en aluminium juxtaposé à un autre métal approprié seraient, dit-on, indiquées dans le traitement des rhumatismes, par suite de l'action du courant électrique formé.

Dans l'équipement et indépendamment des clous et ferrures extérieures devant empêcher la déformation et l'usure, le *Journal des inventeurs* signale comme tout indiqué l'emploi d'une lame d'aluminium placée entre les deux semelles de cuir de la chaussure.

Cette plaque doit être épaisse de 1 à 2 dixièmes de millimètre et recuite, pour ne nuire en rien à la souplesse du cuir. On éviterait ainsi l'humidité qui traverse le tissu lorsqu'on marche à la pluie ou dans la neige, et on conserverait bien plus facilement la chaleur des pieds par les temps froids, lors même que la semelle de cuir serait usée et percée.

Applications variées. — En dehors de ces applications spéciales, les alliages légers les plus résistants semblent pouvoir être utilisés, comme cela résulte des exemples cités dans cet ouvrage, dans les constructions mécaniques, les têtes de ponts, le matériel roulant sur pistes, routes, la navigation fluviale, en pays neufs principalement, avec cet immense avantage que les cornières, par exemple, avec les dimensions de 7 à 8 centimètres sur 9 à 10, ne pèsent pas même 2 kilogrammes le mètre, contre 6 kilogrammes en fer.

Il va de soi qu'avec de telles qualités, ces alliages, recouverts ou non de peintures appropriées, selon leur composition moléculaire, leur homogénéité et leur juxtaposition avec d'autres métaux, peuvent rendre de réels services dans la grande industrie, employés en général, sous forme de tôles, tubes et profilés divers. Les avantages seraient particulièrement appréciables pour les lignes de pénétration à l'étude dans la plupart de nos colonies, la diminution du poids mort devant être d'autant

plus importante que l'on s'éloignera davantage des stocks de combustibles, des prises d'eau utilisable pour les chaudières et, d'autre part, l'allégement pouvant porter sur le matériel roulant, comme sur le matériel fixe des postes lointains : construction de stations et dépendances, réduits, blockhaus, sémaphores, réservoirs à eau et pétrole, installations d'éclairage à l'alcool et à l'acétylène, établissement de lignes télégraphiques et téléphoniques avec poteaux, fils conducteurs, etc.

Des applications intéressantes pourront également être essayées dans la marine, pour les cloisonnements, rampes, récipients, condensateurs ne présentant pas les inconvénients de ceux en plomb, etc.

Dans ce cas, malgré les propriétés préservatrices de la subérine et autres peintures, il semblera préférable de recourir aux doublés cuivre ou acier-aluminium sur les deux faces.

A l'état nature, ou bronzés, nickelés, argentés, dorés, ils sont indiqués pour les cloisonnements simples ou doubles, avec interposition de corps isolants comme l'amiante pour permettre la circulation d'air chaud, les rideaux, fauteuils, rampes, socles, principalement dans les écoles, hôpitaux, théâtres, hippodromes, halls ouverts au public. A la fois légers, inaltérables, *incombustibles*, ils sont faciles à désinfecter par les solutions boriquées, l'eau phéniquée ou ozonisée, l'aldéhyde formique, etc. De même, les tôles ondulées trouveront leur emploi dans les toitures en pays d'Extrême-Orient, en place des tôles galvanisées trop lourdes : en Chine, par exemple, où l'importation est passée en une année de 5000 piculs et 20000 taëls à 13000 piculs et 51 000 taëls, rien qu'à Shanghaï, de 1889 à 1890 *(North China Daily News)*; les volets de banques, magasins, les tôles ordinaires pour voitures, wagons, châssis, portes et portières, tenders, superstructures de locomotives, plaques et enseignes, cantines, malles, tonneaux, hottes pour vendangeurs, nécessaires de voyage, pulvérisateurs, robinets, serpentins, condensateurs, réservoirs à eau, alcool, pétrole, bouillie bordelaise, vaisselle vinaire, estagnons à acides acétique, phénique, etc., huiles minérales et végétales, phénols, essences, vaselines, etc.; caisses étanches pour farines (1), denrées et munitions, baignoires

(1) Se désinfectant facilement au sulfure de carbone et à la vapeur d'eau surchauffée.

mobiles ou pour bains sulfureux, bouillotes, chaînes, serrures et clefs pour endroits humides, casques, cuirasses, fourreaux de sabre, fers à cheval, arçons de selle, bâts, orgues, tambours et instruments de musique, physique et optique, objets d'art et bibelots, monnaie de billon (1), sapecks, orfèvrerie, services de table rappelant, avec 5 0/0 d'or ou d'argent, l'aspect des métaux de prix, avec reliefs, eaux-fortes, etc., d'un entretien facile et d'une inaltérabilité pour ainsi dire complète; passementerie imitation or et argent, meules à aiguiser (Allemagne), etc.

Applications d'ensemble. — Dans la grande traction, par exemple, où l'on arrive aux vitesses de 100 kilomètres, cette substitution des alliages légers d'aluminium au fer, aux aciers doux peut, d'après les calculs les plus sérieux, permettre de réaliser un allégement de 12 à 1500 kilogrammes par wagon, c'est-à-dire d'économiser une voiture sur cinq ou six (2).

Aussi la question était-elle à l'étude dans la plupart des grandes Compagnies, lors de la découverte de l'acier au nickel, qui paraissait de nature à réaliser sous une autre forme l'allégement attendu des alliages légers d'aluminium.

Cet acier présentait une résistance triple de celle des aciers ordinaires (70 à 80 kilogrammes au moins); on pouvait, en effet, espérer résoudre le problème de l'allégement en l'employant sous une épaisseur trois fois moindre. Malheureusement, la nouvelle combinaison n'est pas toujours homogène, ni suffisamment malléable, et il semble que la rouille pourrait vite avoir raison d'une épaisseur ne devant guère dépasser un tiers de millimètre, pour lutter, toutes choses égales d'ailleurs, avec les laminés d'alliages légers d'aluminium.

Au contraire, avec les combinaisons bien comprises à base d'aluminium, ainsi que les membres français de la section des Sciences de l'Exposition de Belgique ont pu en juger d'après les châssis de voitures du nouvel express de Paris-Bruxelles, créé par la Compagnie du Nord, la rouille n'est pas à craindre, même sans peinture.

---

(1) Avec alliage : aluminium, nickel ou argent, métaux peu altérables.

(2) 4 à 500 kilogrammes pour tramway ou omnibus non couvert et bien davantage avec couverture.

On a vu que, dans les transmissions de courants électriques, l'allégement serait de 50 0/0 sur le cuivre pour les fils et de 30 0/0 sur les poteaux en bois, avec les avantages économiques résultant de la hausse progressive du cuivre.

§ 4. — Travail et recouvrage de l'aluminium.

Bien que, d'une manière générale, l'aluminium et les alliages légers puissent, comme on l'a vu, être employés à l'état nature, il est peut-être bon de résumer ici les opérations de décapage, brunissement, recouvrage en général.

Décapage. — L'aluminium et ses alliages se décapent, comme tous les métaux, aux alcalins avec saturation de l'excès de base par un acide. Une double précaution est à prendre, c'est de ne pas laisser séjourner le métal, sur lequel l'action de la potasse ou de la soude est trop vive, plus de une à deux minutes dans le bain, temps largement suffisant; et ensuite de ne pas employer l'acide chlorhydrique ou l'eau régale, le premier étant le vrai dissolvant de l'aluminium et l'action étant d'autant plus vive que le métal est moins pur.

L'action des acides azotique et sulfurique, au contraire, ne présente aucun inconvénient et peut, en pareil cas, être considérée comme négligeable.

Ce décapage donne au métal l'éclat de l'argent bleuté lorsqu'il est pur, blanc ou jaunâtre lorsqu'il est allié à des métaux étrangers.

Nettoyage. — Pour débarrasser les plaques d'aluminium de toute saleté ou de toute matière grasse, on les immerge en premier lieu dans une solution concentrée de potasse caustique et ensuite on les lave à la benzine; puis on place le métal dans un mélange de 2/3 d'acide azotique pur et 1/3 d'eau, puis dans l'acide azotique non dilué et enfin dans un mélange de vinaigre et eau, à parties égales. Enfin, on lave à l'eau pure, on sèche dans la sciure de bois et on polit avec le *tripoli*, à l'aide d'une peau de mouton ou de chamois.

Brunissement. — M. Gottig, de Wilmersdorf, vient de signaler dans le *Metallarbeiter*, un nouveau procédé pour brunir l'aluminium.

Ce procédé consiste à faire agir sur l'aluminium une solution d'ammoniaque seule, ou en présence de sels ammoniacaux. Dans le premier cas, l'aluminium, qui contient toujours un peu de fer et de silicium, se dissout, mais le silicium et le fer restent, formant à la surface du métal une couche adhérente d'un brun jaunâtre ou d'un bleu grisâtre, dont la couleur varie avec la quantité d'impuretés que renferme l'aluminium.

Si l'on traite par l'ammoniaque en présence de sels ammoniacaux, le silicium reste seul ; dans ce cas, le fer se dissout, mais les combinaisons formées réagissent sur les sels ammoniacaux et il se dépose de l'hydrate d'aluminium et de l'oxyde de fer qui contribuent à la formation de la couche protectrice.

Les propriétés physiques et chimiques de la surface du métal sont à tel point modifiées qu'il résiste, paraît-il, à l'action de l'air humide, de l'eau et des acides faibles ; en outre, l'aluminium ainsi traité se laisse facilement souder et les dépôts électrolytiques y adhèrent fortement.

Un autre procédé est basé sur l'emploi à chaud de l'albumine du blanc d'œuf qui noircit le métal et permettrait ainsi d'éviter les reflets des ustensiles de campement.

Ce noircissement semble dû au phosphore.

Dorure, argenture (G. Wergner). — Les objets en aluminium sont décapés dans une lessive de potasse caustique ou carbonatée, lavés à fond ou immergés deux minutes dans un bain de cyanure d'argent additionné de cyanure de mercure. L'aluminium se recouvre ainsi d'une pellicule d'amalgame d'argent sur laquelle on peut déposer les métaux par les moyens ordinaires.

Sur l'amalgame d'argent, on peut déposer une couche de zinc avec un bain de chlorure de zinc additionné de sulfate de soude ; cette couche de zinc se prête très bien aux dépôts galvaniques d'or, d'argent, de nickel, etc.

D'autres méthodes pour l'argenterie directe consistent à obtenir la frappe immédiate de l'argent sur l'aluminium par un courant de dynamo préservant ce dernier de l'attaque du bain. La

façon d'opérer pour obtenir un nickelage brillant est la même, sauf le bain, que pour nickeler le cuivre.

Cuivrage et métallisation en général. — Les divers procédés, y compris le procédé allemand Mausserman (*Electro-Chemie*, septembre 1897), pour le cuivrage ou la galvanisation des tubes d'aluminium, consistent à recouvrir, soit par fusion, soit par ébullition, l'aluminium bien propre d'une couche métallique adhérente, avant de déposer le métal par voie électrolytique.

La méthode par fusion consiste à badigeonner les tubes avec des combinaisons métalliques susceptibles de produire la réduction du métal par chauffage à l'abri de l'air, à les sécher et les passer au four de cuisson.

Pour le moment, il semble que, le dépôt de cuivre étant celui qui s'obtient le plus facilement et de la manière la plus homogène, les opérations de nickelage, l'argenture et dorure doivent venir se greffer sur le cuivrage (1).

Dépôts électrolytiques. — De même que cela se fait pour le cuivre et l'argent, on a expérimenté, aux États-Unis principalement, la galvanisation par l'aluminium de parties d'édifices, grilles, balcons, dômes, etc.

Là, encore, il est nécessaire, si l'on veut obtenir un dépôt inaltérable, d'exiger la pureté des produits soumis à cette opération.

Dans ces conditions, on pourrait assurer à peu de frais et pour de longues années la préservation de grandes surfaces. De plus, au point de vue de l'esthétique, on réaliserait les avantages que présente l'éclat métallique auquel ne se peuvent comparer les peintures ou vernis autres que les compositions à base de poudre d'aluminium ou autres produits donnant des tons or, argent, cuivre, bronze.

---

(1) D'après une communication de la Société de Physique de Berlin, on peut recouvrir l'aluminium de couches formées par d'autres métaux de la manière suivante : L'aluminium est plongé dans un bain de potasse ou de soude caustique ou encore dans l'acide chlorhydrique. Puis, l'objet est plongé dans un bain de sublimé corrosif qui amalgame la surface. On recommence la première opération, et finalement on plonge l'aluminium dans un sel du métal choisi pour le recouvrement. On voit se former rapidement sur l'aluminium une couche très adhérente de ce métal ; l'objet peut être ensuite poli, nettoyé et laminé.

Aluminium doublé de cuivre. — Après les alliages, vient naturellement se placer un plaqué aluminium et cuivre qui donne, paraît-il, d'excellents résultats en Allemagne où il serait employé dans la marine de l'État.

Il est obtenu en laminant une feuille d'aluminium entre deux feuilles de cuivre très minces.

Ces plaques se font à 5 0/0 et 10 0/0 de cuivre. Elles peuvent se souder, se nickeler, se peindre ; elles ne s'oxydent pas plus que le cuivre à l'eau de mer, tout en ayant presque la même légèreté que l'aluminium.

Il nous a été donné d'expérimenter des plaqués analogues obtenus en France ; mais il nous a paru utile de recouvrir les sections de vernis protecteurs (1).

Il est probable que les mêmes résultats s'obtiendraient avec les magnifiques bronzes lourds d'aluminium, dont des plaques plus minces que celles de cuivre ci-dessus signalées répondraient au même but avec une densité encore plus faible.

Travail de l'aluminium. — D'une manière générale, l'aluminium se travaille comme le cuivre, à la lime, au tour et autres outils. Il y a à tenir compte du point de fusion : 700° environ et il est bon de ne guère dépasser 250° pour les recuits.

Rivetage. — L'aluminium se prête très bien, sans se déformer, au travail du rivetage. Les rivets se posent généralement à froid, et quelquefois en les chauffant légèrement.

Soudage. — Si nombreux que soient les procédés usités pour la réunion de diverses parties d'aluminium pur ou allié, il n'en est pas encore qui puisse être recommandé comme vraiment industriel.

Aussi, est-il préférable, pour le moment, d'utiliser les remarquables propriétés d'emboutissage du métal et de ses alliages légers, avec un rivetage bien compris et de même composition,

---

(1) Le placage peut être interne ou externe, selon que l'on veut, par exemple, conserver à l'ustensile culinaire l'éclat du cuivre à l'extérieur, ou donner à un objet d'art l'aspect de l'or à l'intérieur. Il peut être simple ou double, si l'on veut intercaler l'aluminium entre deux feuilles de cuivre ou acier, dans les choses de la Marine, par exemple, ou inversement, recouvrir sur les deux faces l'acier ou le cuivre d'une feuille d'aluminium, toujours dans le but de combiner la résistance à l'allégement.

pour éviter les actions galvaniques ou électro-chimiques aux points de contact.

Entretien. — L'aluminium et les alliages légers s'entretiennent facilement, polis et brillants ou mats, par les moyens ordinaires : tripoli, savon minéral, acide azotique étendu, à l'exclusion d'acide chlorhydrique, vaseline ou paraffine, pour la conservation des objets non en service. Éviter les cendres alcalines. Se méfier dans les ustensiles culinaires et de campement, surtout avant de remettre en magasin, des agglomérats de graisse salée pouvant imprégner le métal. Bien nettoyer dans ce cas, passer au savon minéral et rincer à l'eau chaude, ou nettoyer au tripoli.

Polissage. — Le polissage s'obtient à la meule et les tons mats par le décapage.

Lubrifiant. — Comme lubrifiant, dans les différents travaux de l'aluminium, on se sert, de préférence, du pétrole.

Peinture. — Il est nécessaire de peindre les pièces en aluminium qui doivent être exposées à l'eau de mer, ou même à l'air salin, soit à la subérine utilisée dans la marine, soit avec d'autres compositions, dont certaines à base de poudre d'aluminium, appropriées aux conditions diverses marquées par les applications.

CHAPITRE XIII

Résumé général.

De cet ensemble de considérations, il ressort donc un progrès réel dont les conséquences peuvent être incalculables et dont le mérite revient surtout aux savants et industriels français et américains. On peut ajouter, qu'en notre pays, les divers services de la défense nationale ont fortement contribué à vulgariser dès le début les produits de l'industrie nouvelle et faire d'une matière première, hier encore une rareté, un métal réunissant l'ensemble des propriétés physiques et mécaniques des métaux usuels et de certains métaux précieux. Cependant si le métal industriel doit réunir un ensemble de qualités spéciales en vue de chaque application, il faudra surtout redoubler de précautions avec le métal commercial.

Ce n'est que dans ces conditions que l'on pourra s'orienter avec certitude vers les applications nouvelles et éviter ces échecs retentissants, de nature à tout remettre en question.

Et, pour bien mettre cet axiome en évidence, nous ne pouvons mieux faire que reproduire ces quelques lignes extraites d'une feuille technique intitulée *l'Aluminium*, et dans laquelle M. Minet écrivait ce qui suit, vers 1896, sous ce titre : *l'Avenir de l'aluminium* :

« Il y a peu d'industries qui aient eu une carrière aussi brillante et aussi rapide que l'aluminium, et qui, en même temps, aient été exposées à plus de prévention et d'attaques violentes.

» Mais les efforts de tous ceux qui veulent arrêter la marche d'un progrès sont vains et les applications du métal français se multiplient malgré eux; le temps n'est même pas éloigné où toutes les résistances auront été vaincues.

» Nous regrettons que parmi les détracteurs de l'aluminium il y ait surtout des Français; et nous espérons pour eux qu'ils pêchent plus par incompétence que par parti pris.

» Quoi qu'il en soit, et bien que l'influence des ennemis de l'aluminium soit mince, nous devons veiller à réagir contre cette tendance au dénigrement, ne serait-ce que pour hâter le développement de cette industrie nouvelle.

» Trois griefs ou assertions erronés, de nature diverse, ont été formulés successivement contre l'aluminium et ses procédés de fabrication et fixent, pour ainsi dire, les étapes des progrès réalisés. On a nié tout d'abord que les méthodes électrolytiques fussent d'origine française; il nous sera facile de démontrer qu'elles le sont doublement : aussi bien au point de vue scientifique qu'industriel. Aussi, sommes-nous étonné d'entendre dire quelquefois qu'il faut rapporter aux frères Cowles l'honneur d'avoir fait les premières expériences d'où dérivent les méthodes françaises.

» Mais passons aux griefs : à leur début, on reproche aux fabricants d'aluminium de ne pouvoir produire d'aluminium à bas prix. Exemple : l'aluminium valait 120 francs en 1887 : M. Moissan annonce qu'il est à 4 francs actuellement ! Et les méthodes électriques n'ont pas dit leur dernier mot.

» A mesure que l'aluminium diminuait, ce qui rendait possible nombre d'applications de ce métal, on émit des doutes sur ses qualités mécaniques; il fut, au contraire, assez rapidement avéré que l'aluminium avait des qualités mécaniques très remarquables, étant donnée sa faible densité. On produit couramment aujourd'hui des alliages d'aluminium dont la résistance à la rupture est de 25 kilogrammes par millimètre carré et dont l'allongement est de 10 à 15 0/0.

» Reste un dernier argument contre l'aluminium : son oxydabilité, ou, pour parler d'une façon plus précise, sa faible résistance à la corrosion, sous l'action des agents chimiques et particulièrement de l'eau de mer. Il est vrai que, dans les premières applications, il y a eu quelques déboires; mais cela tient à ce qu'on ne savait pas travailler l'aluminium et qu'à un métal nouveau il fallait employer un mode de travail nouveau et appliqué à ses qualités spéciales.

» Cela a-t-il empêché le Ministre de la Marine d'envoyer à

Madagascar des pirogues et des chalands démontables en aluminium; de commander hier au Creusot quatre nouveaux torpilleurs en aluminium?

» Non, et quoi qu'on dise, l'aluminium a conquis dans la construction navale une place qu'on ne pourrait lui ravir qu'en créant un métal plus léger que lui. »

Après cette rapide et quelque peu humoristique mise au point de la part d'un auteur si autorisé et toutes les conclusions de cette étude étant basées sur la pureté du métal, condition *sine qua non* de son utilisation, ainsi que cela est établi dans le cours de cet ouvrage, il sera bon de signaler, à l'appui de nos constatations personnelles de 1887 à 1900, celles faites par des hommes aussi autorisés que MM. Riche, Moissan, par exemple.

C'est ainsi qu'à la suite d'expériences concluantes, le savant directeur du laboratoire de la Monnaie a reconnu que le métal se comportait très différemment selon sa composition centésimale et que, à l'Académie des Sciences, dans une discussion publique avec M. Ditte (1), M. Moissan, qui s'était également livré à des recherches approfondies sur ce point, a pu établir nettement :

1° Que, si les expériences qui ont pu être faites antérieurement ont été défavorables, cela tient à ce qu'elles portaient d'abord sur un métal contenant du sodium (procédé Wœhler) dont, personnellement, nous avons retrouvé dans certains spécimens jusqu'à 3 0/0;

2° Que chaque fois que, dans nos expéditions, comme celle de Madagascar, il a été tenu compte de ce facteur éventuel : pureté relative du métal industriel alors obtenu seulement au titre moyen de 0,985, le matériel s'est parfaitement comporté, même au contact des embruns. Voici, au reste, un passage de la déclaration de M. le professeur Moissan : « Pour bien comprendre la différence profonde qui existe entre l'aluminium produit en 1893 et l'aluminium d'aujourd'hui, je citerai les analyses suivantes choisies parmi les centaines d'analyses qui ont été faites dans mon laboratoire pour l'étude de cette question.

---

(1) *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 919 (1898) et t. CXXVIII, p. 195 (1899).

» Analyses d'alliages d'aluminium faites en août et septembre 1893 :

	1	2	3	4	5	6	7
Cuivre	5,85	5,60	2,62	2,27	1,20	6,35	5,99
Silicium	1,27	1,43	1,56	1,50	1,58	1,64	0,93
Fer	0,41	0,32	1,53	1,59	1,15	1,66	1,13
Aluminium. . .	92,78	92,85	94,52	94,77	96,33	90,55	92,07
	100,31	100,20	100,23	100,13	100,26	100,20	100,12

» Analyses d'aluminium et d'alliages d'aluminium faites en novembre 1897 :

Cuivre.	3,02	traces	traces	3,01	3,02	2,90
Silicium	0,04	0,05	0,03	0,09	0,02	0,13
Fer	0,20	0,19	0,32	0,12	0,20	0,12
Aluminium . . .	97,01	99,80	99,18	97,02	96,74	97,04
	100,27	100,04	99,58	100,24	99,98	100,19

» Cette pureté de l'aluminium actuel a été due, en partie, aux perfectionnements que M. Secrétan a apportés au procédé Hall (1). »

Nous devons à la vérité de faire remarquer que des progrès analogues ont été réalisés en France, tout au moins, et dans les mines exploitant la méthode de Héroult. Malgré une production intensive, atteignant 1500 tonnes par an (2), le titre obtenu est en effet couramment de 0,995, résultats obtenus grâce à la collaboration de l'inventeur même de ce procédé essentiellement français.

On peut donc considérer comme résolue cette question de pureté, de règle absolue du reste, pour les métaux en général (3), pour lesquels on se préoccupe des traces de métaux étrangers combinés ou non, des métalloïdes, des gaz même pour l'absorption desquels on recourt de plus en plus dans les aciéries, précisément à l'aluminium.

En redoublant de précautions avec le métal commercial pouvant, soit dans un esprit de lucre, soit en vue de certaines

(1) Usine de Calypso, actuellement dirigée à Saint-Michel (Savoie) par M. Collin.

(2) La Praz, près Modane.

(3) Règle appliquée, on sait avec quel soin, dans tous les établissements de l'État et des grandes administrations, où le contrôle technique des matières premières est rigoureusement défini dans les cahiers des charges visant les adjudications publiques.

qualités mécaniques ou autres, être additionné de métaux contre indiqués; en évitant les soudures de nature à former, en certains points de la masse, des composés moins stables et introduire dans l'alimentation ou les boissons des composés toxiques ; enfin, en ne négligeant pas la protection chaque fois qu'il pourra y avoir contact prolongé avec l'eau de mer, on pourra, dans la pratique, aborder les applications les plus variées et les plus étendues, dans des conditions autrement favorables que ces dernières années.

Et si les industries des aciéries, de l'alumino-thermie, de l'automobilisme et autres se montrent, depuis quelques temps déjà, satisfaites de l'utilisation en grand du nouveau métal sous forme de fonte principalement, tout fait espérer qu'il en sera dorénavant de même pour les laminés et le métal écrouï en général.

Il suffira qu'ingénieurs et constructeurs suivent les exemples d'hommes d'une compétence aussi universellement reconnue que MM. Canet, directeur de l'artillerie des Forges et Chantiers de la Méditerranée et du Creusot; le général Sébert, du cadre de réserve de l'artillerie, membre de l'Académie des Sciences; Normand, du Havre; Yarrow, en Angleterre; Hunt, aux États-Unis.

Les Sociétés de Constructions n'auront, de leur côté, qu'à s'inspirer des précédents des Sociétés des Métaux, Munitions Françaises, et surtout des Chantiers de la Loire dans la confection des embarcations lancées pour notre Office Colonial principalement sous le ministère Delcassé (Missions Monteil, Marchand, Hourst). Au reste, ces études se poursuivent à l'étranger, où l'aluminium et ses dérivés, les plaqués principalement s'emploient de plus en plus dans les arsenaux maritimes d'Angleterre et d'Amérique comme dans les ports de la Baltique et de l'Adriatique.

Mais, dans les applications en grand, si l'on veut voir le nouveau métal entrer de plain-pied dans l'industrie, à côté de ceux dont l'origine se perd dans le lointain des civilisations les plus anciennes, et se plaçant entre les métaux usuels et les métaux précieux, malgré un prix de revient relativement faible, il faudra particulièrement exclure les impuretés sodium et l'alumine de non réduction ou réoxydation ; en même temps l'élément fer, de nature à donner naissance à des actions électrochimiques, ne devra pas dépasser la dose de quelques millièmes,

excepté dans les ferro-aluminium, bien entendu, et combinaisons analogues voulues.

Il en sera de même, *à fortiori*, dans les ateliers de confection d'objets fabriqués par emboutissage pour le campement, l'alimentation, le transport desliquides les plus variés depuis les vins et alcools jusqu'au phénols, en passant par les corps gras, huiles animales, végétales et minérales, et cela d'autant plus qu'on ne devra pas compter sur une protection quelconque, pas même sur la peinture plus ou moins usitée dans les applications en grand.

L'optique, l'acoustique, la géodésie, les instruments de précicision en général exigeront surtout un métal non-seulement pur, mais à grain très fin parfaitement laminé et bien poli. Les câbles de transmission devront naturellement présenter la texture fibreuse après avoir subi un écrouissage spécial.

En se conformant à cet ensemble de règles, on pourra généralement compter sur un allègement de 30 à 60 0/0 par rapport au fer, aux aciers doux, au bois, et davantage dans la pratique, si invraisemblable que celà puisse paraître à première vue, par rapport aux poteries, faïences et verre même.

Bien plus, cette matière première résistante, d'une grande conductibilité par la chaleur et l'électricité, *cette dernière double, toutes choses égales d'ailleurs, de celle du cuivre pur de Mathuissen*, d'une conductibilité et malléabilité comparables à celles des métaux précieux, d'une remarquable sonorité, d'un point de fusion trois fois plus élevé que celui de l'étain et moitié de celui du fer, etc., présente de remarquables propriétés d'inaltérabilité à l'air sec et humide et est inattaquable, si ce n'est à la longue, par l'eau, l'hydrogène sulfuré et le sulfure de carbone, l'ozone, l'aldéhyde formique, les corps gras et les dérivés des pétroles, les acides organiques ou tartres du vin, les boissons et aliments en général, ainsi que par les condiments y compris le vinaigre. Bien plus, à part les alcalins concentrés, les produits chlorés et certains ingrédients ou produits chimiques, on peut dire que les acides azotique et sulfurique l'attaquent assez faiblement pour que le premier soit indiqué, non seulement dans le décapage, mais même dans le simple nettoyage, l'acide chlorhydrique restant le véritable dissolvant, agissant d'autant plus vivement que l'aluminium est moins pur. Enfin, inoffensif par les produits pouvant se former, il se prête parfaitement aux opérations

d'asepsie et antisepsie usuelles, ce qui, joint à l'incombustibilité, représente une indication de premier ordre pour le matériel des écoles, hôpitaux, théâtres et autres agglomérations.

Sous différentes formes et dans des conditions des plus variables, les alliages légers comme les bronzes inaltérables ou considérés comme tels ont déjà plus ou moins subi la double épreuve du temps et de la mise en service actif. On sait, en effet, en ce qui concerne par exemple les embarcations coloniales, le matériel de campement, les tambours, etc., que les résultats ont dépassé toutes les prévisions, pour peu que l'on opérât à une légère distance du littoral maritime. C'est ainsi que, assemblées sans soudures et par simple rivetage, les embarcations coloniales ont pu être utilisées, même pendant plusieurs années, sans la moindre peinture ou vernis protecteur et que, sans avoir jamais subi la moindre opération d'étamage ou émaillage, le matériel de campement du corps expéditionnaire de Madagascar a pu rendre de signalés services dans la dernière et si rude campagne de l'Extrême-Sud algérien.

De ces exemples pratiques au premier chef, on peut facilement déduire des conséquences d'ordre plus général en vue de l'utilisation dans l'ensemble des constructions mécaniques des tôles, rampes, châssis, cornières et profilés divers, colonnes et supports, balcons, grilles, etc.

Les alliages légers d'aluminium permettront vraisemblablement d'y réduire le poids-mort des 2/3 par rapport au fer et aux aciers doux, de 1/3 par rapport au bois, sans autre rivaux possibles que les aciers ou nickel, par exemple, pas toujours très homogènes ou faciles à travailler et, de plus, exigeant protection contre la rouille perforatrice. On voit les avantages dans la traction, sous le double rapport de la rapidité des communications et des économies de combustible. Mais on ne saurait trop insister sur l'extension des applications dans les transmissions de courants et d'énergie, de plus en plus à l'ordre du jour, puisque 1 kilogramme d'aluminium y représentera l'équivalent de 2 kilogrammes de cuivre.

Pour le moment, nous plaçant surtout au point de vue de l'allègement dans l'armée qui a été le seul but de nos travaux, ainsi que de l'hygiène et de la sécurité relative de l'alimentation, et convaincu qu'il y a là un progrès réel et immédiat à réaliser,

sans accroissement des charges de la défense nationale, bien au contraire.

Nous demanderons surtout que nos soldats et marins, les élèves de nos établissements d'enseignement, les pensionnaires de nos hôpitaux, soient pourvus comme les particuliers de matériel culinaire, de campement et réfectoire en alliages légers d'aluminium, absolument inoffensifs dans l'alimentation.

Les préoccupations bienveillantes des pouvoirs publics et du Ministère de la Guerre en particulier, nous étant connues, nous nous bornerons à souhaiter parallèlement (chose probable eu égard à la prospérité des usines de production électrolytique françaises), la réduction du prix de revient et celle du prix des objets fabriqués, encore considérés comme articles de nouveauté. Ainsi disparaîtra, semble-t-il, la dernière objection qui puisse désormais être formulée contre la vulgarisation de ce merveilleux métal, surtout dans notre pays où on le voit, sous forme d'ustensiles culinaires et autres, réchauds, nécessaires d'explorateurs, briller dans les étalages les plus élégants, à côté des objets similaires en cuivre, nickel ou bi-métal.

En effet, si ces différents objets, mats ou polis, présentent un bel aspect et une solidité remarquable, leur principal avantage est de supprimer l'odeur désagréable, le contrôle si compliqué de l'étamage, fondant à 200°, se ramollissant facilement et surtout les soudures si souvent plombifères et à action si traîtreusement toxique. Il n'est donc pas douteux que ce petit guide de l'ingénieur, du chimiste, permettra aux techniciens de répondre en toute connaissance de cause à certains desiderata de l'hygiène générale qui touche à la santé de la jeunesse, à la population relevant de l'Assistance Publique, comme de l'ensemble de la population.

Et, pour rester d'accord avec les idées de progrès telles qu'elles se manifestent de jour en jour, il ne sera pas excessif de prévoir le jour prochain où la grande traction, la navigation fluviale, l'aérostation et les transmissions de courants et d'énergie utiliseront en grand, surtout dans les régions éloignées, ce métal si étrangement extrait du sol même, il y a un demi-siècle, sous forme de globules apparaissant isolés dans le creuset de notre grand chimiste Henri Sainte-Claire Deville.

APPENDICE

Dans une récente publication insérée dans la *Revue des Troupes coloniales*, M. le Professeur Ditte, après avoir étudié les chaleurs de formation de l'alumine et de ses sels, conclut à une grande facilité d'oxydation du métal et, par suite, à une action de décomposition de l'eau et des acides étendus, tout en ajoutant que cette action est presque immédiatement arrêtée par la formation d'une couche mince, continue, imperméable d'alumine qui, adhérant à la surface du métal, supprime son contact avec l'eau, la réaction ne se continuant que si l'on arrive, par un procédé quelconque, à rompre la continuité de cette couche d'alumine.

Le savant professeur, pour les mêmes raisons, conclut également à la décomposition de l'eau en présence d'acides capables de dissoudre le dépôt d'alumine. Mais il ajoute que, dans ce cas, le contact du métal avec le liquide qui l'enveloppe, serait supprimé d'une manière presque complète, par l'interposition d'une couche gazeuse formée généralement par de l'hydrogène. Et, alors, il faudrait opérer dans le vide, ou de manière à empêcher la formation de la couche de gaz pour permettre à l'action de se continuer plus ou moins lentement, jusqu'à dissolution complète de l'aluminium.

De même, pour le sel marin et sels analogues que M. Ditte considère comme sans action sur l'aluminium, ce chimiste examine l'hypothèse d'actions contraires et inverses entre le chlorure d'alumine qui se formerait et la base mise en liberté ; et il pense que, si l'on s'oppose à cette seconde action, par exemple, en saturant avec un acide l'oxyde

formé au fur et à mesure de sa production, la première pourrait avoir lieu. Il pense, de plus, que l'oxydation du métal est notablement facilitée par l'intervention de l'oxygène et de l'acide carbonique atmosphérique, et que, dans ces conditions et à froid, dans l'eau de mer, il se forme de l'aluminate de soude, du carbonate de soude, d'alumine et de soude, de sorte que l'aluminium exposé à la fois au contact de l'atmosphère et de l'eau de mer, s'oxydera et se recouvrira d'une couche plus ou moins épaisse d'alumine mêlée avec des sels solubles ou non. Il conclut enfin que, si l'aluminium, une fois retiré du liquide, n'est pas entièrement débarrassé de cet enduit, s'il n'a pas subi des lavages convenables, son altération continuera de se faire partout où un peu d'enduit demeurera adhérent à la surface.

En somme, M. Ditte, en signalant que la plupart des agents chimiques agissent sur l'aluminium, conclut que ce métal est remarquable par l'opposition qui existe entre ses qualités apparentes et ses propriétés réelles.

« Grâce à la facilité extrême avec laquelle il se recouvre de couches protectrices, gazeuses ou solides, il n'y a entre lui et les liquides dans lesquels on le plonge, qu'un contact extrêmement imparfait, si bien que, dans les circonstances habituelles, ceux-ci semblent ne pas avoir d'action sur lui. Cependant la dissolution du métal est très sensible dans beaucoup de cas; quand, par exemple, il est en présence de condiments en même temps salés et vinaigrés; il n'y a pas, en vérité, d'accidents toxiques à redouter, les sels d'alumine n'étant pas vénéneux; mais l'usure des vases peut devenir assez rapide pour compromettre leur existence dans bien des circonstances et, par suite, venir restreindre l'emploi d'un métal qui, d'autre part, offre de si grands avantages. »

D'autres expérimentateurs, en France et à l'étranger, entre autres chez nous, M. Riche, le Directeur du Laboratoire de la Monnaie, avaient également constaté ces attaques plus ou moins sensibles sur divers spécimens d'aluminium. Mais l'attention n'avait pas encore été spécialement attirée sur les conditions de pureté à exiger du métal; aussi le savant chimiste n'hésita pas à reconnaître que cela pouvait provenir des éléments étrangers associés à l'aluminium. Or, c'est précisément sur ce point essentiel que, dès le début de nos travaux, ont été orientées nos recherches pour arriver à conclure, ainsi qu'on l'a vu, à l'importance capitale du titre du métal, dans toutes les applications, la pureté absolue constituant en certains cas une condition *sine qua non*, que le métal fût destiné à être utilisé pur ou allié. C'est à ces résultats qu'ont également abouti les études poursuivies dans l'industrie et par M. Moissan.

A défaut d'indications sur la composition centésimale des échantillons sur lesquels ont porté les expériences de M. Ditte, il est donc à

présumer que, comme la généralité de ceux qui maniaient le nouveau métal, l'éminent chimiste a dû étudier surtout des spécimens de titres très variables, et cela expliquerait les observations dont il s'agit.

A l'appui de cette hypothèse, nous ferons remarquer que, personnellement, nous n'avons constaté d'altération sensible, se manifestant simplement par une légère couche d'oxyde, un dégagement d'hydrogène appréciable, ou points d'attaque visibles que lorsqu'il y avait présence de sodium devenant rapidement soude caustique dans l'eau comme dans l'air, ou d'un des métaux donnant lieu avec l'aluminium à des actions électro-chimiques ou encore de cuivre, nickel donnant naissance à des actions galvaniques assez sensibles au-dessus de 3 0/0 de cuivre et de 1 à 2 0/0 de nickel.

Reprenant les appréciations de M. Ditte, nous lisons ce qui suit :

« L'aluminium pur (non allié) convient lorsqu'une grande résistance mécanique n'est pas nécessaire. Lorsqu'il a été recuit, sa résistance à la rupture est voisine de 10 kilogrammes par millimètre carré et il possède un allongement de 30 0/0 environ ; vers 550°, il devient pâteux et *se soude à lui-même par la compression ;* mais il ne peut, sans se rompre, être soumis au martelage, et, dans beaucoup de circonstances, on utilise de préférence des alliages de cuivre à diverses teneurs, en raison de leurs qualités mécaniques bien supérieures à celles du métal pur ; le bronze à 10 0/0 de cuivre est celui qui présente le maximum de résistance.

» L'emploi de l'aluminium a été essayé pour les constructions navales, principalement sur les indications de M. l'Ingénieur de la marine V. Guilloux. En 1896, le Gouvernement français a fait construire, par la maison Yarrow et Cie, un torpilleur de 2e classe, de 18 mètres de long sur 2m,80 de large, fabriqué avec des alliages à 3 et surtout à 6 centièmes de cuivre laminés moyennement durs ; l'étrave, l'étambot et diverses parties étaient en acier et le constructeur estimait que, à dimensions égales, son prix dépasserait le double de celui du même bâtiment en acier, mais, à raison de sa légèreté, il avait une vitesse moyenne plus considérable. M. Minet a eu l'occasion d'examiner ce torpilleur quatre mois après son arrivée à Cherbourg (juillet 1897) ; il se trouvait en magasin presque depuis cette époque, son séjour n'y ayant été interrompu que par la mise à la mer pour un essai règlementaire. La portion de bordé située au-dessus de la flottaison présentait des traces nombreuses et légères d'attaque ; aux endroits où se trouvent les brides du tuyautage, le métal était attaqué ; l'oxydation se continuait d'ailleurs en magasin avec, peut-être, plus d'intensité qu'à flot.

» Dans l'opinion de M. Minet, pour conserver un bateau d'aluminium

au sec, il faut le débarrasser de toutes les parties avariées de l'oxyde déjà produit, et *les peindre, précaution* (1) *qui avait été totalement négligée dans le cas du torpilleur en question dont la coque s'est entièrement détériorée.*

» L'aluminium peut résister à l'eau de mer, mais à la condition d'être recouvert d'une peinture entretenue en très bon état, ce qui, d'ailleurs, est rendu très difficile par le genre de construction même d'un bateau, et l'entretien d'un tel bateau exige une mise au sec fréquente, pendant laquelle tous les endroits présentant quelque trace de commencement d'attaque doivent être immédiatement grattés au vif, martelés et repeints ; du reste, l'*aluminium ne doit être employé dans les constructions que pour les parties où il est possible de le visiter et de le repeindre, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.*

» Des altérations du même genre, plus ou moins importantes, ont été observées également sur d'autres constructions ; et, à la suite de ces constatations, l'emploi de l'aluminium est, je crois, complètement abandonné par la marine, quoique, d'après l'opinion de M. Yarrow, la corrosion des tôles d'aluminium non peintes n'atteigne pas dans l'eau de mer, en dehors de toute action galvanique, 4 0/0 de leur poids, dans l'intervalle d'une année.

» D'autre part, il a été établi, pour le Ministère des Colonies, une série de chalands et pirogues démontables en aluminium, qui ont servi dans les explorations africaines de ces dernières années, et dont on a pu voir un spécimen à l'Exposition de 1900. Les renseignements précis manquent sur les résultats fournis par ces différentes constructions : *l'Edgar-Monteil* petit chaland à rames, navigue encore sur le Niger et n'a donné lieu à aucune observation ; les pirogues de la mission du Haut-Oubanghi ont donné satisfaction par leur solidité et leur facilité de transport ; *l'Étienne*, chaloupe démontable, destinée à l'expédition Monteil, était une toue à fond plat capable de porter 1500 kilog. et de passer dans les cours d'eau presque à sec, son tirant d'eau n'étant que de 20 centimètres ; il se composait de 24 tranches, dont chacune pouvait être portée à dos d'homme et qui s'ajustaient entre elles au moyen de boulons et de joints de caoutchouc ; ce bateau, construit en 1893, a été repris par le lieutenant-colonel Marchand, après trois années de service au Congo, et c'est avec lui qu'il a pu arriver à Fachoda, en 1898 ; *le Crampell*, *le Lauzière*, *le Plaigneur*, construits en 1895, font partie de la flottille du Haut-Oubanghi. *Le Livrelli*, *le Pronci*, *le Jausarié* sont

(1) Précaution qui s'impose sur mer, pour l'aluminium comme pour tous autres métaux, mais avec cette remarque que ces autres métaux, contrairement à l'aluminium, demandent à être protégés même en eau douce.

actuellement sur le Niger, où ils paraissent rendre des services. Tous ces bateaux, du reste, naviguent en eau douce, qui n'a que peu d'action sur l'aluminium ; pour eux, l'époque la plus critique est celle du débarquement, ainsi que le séjour sur la plage jusqu'à leur départ pour l'intérieur, car, pendant cette période, ils sont exposés à l'oxydation causée par les embruns ainsi que par l'humidité saline, car celle-ci faisant pénétrer du sel marin dans l'intérieur du métal en provoque la destruction lente, comme on l'a dit précédemment. »

M. Ditte donne ensuite quelques détails sur le pont démontable et portatif exposé au Palais des Armées de Terre et de Mer, construit sous la direction de M. le général Dumont et d'après les calculs de M. le commandant Houdaille.

« Ce pont, d'une portée de 15 mètres, était formé de trois poutres pesant ensemble 300 kilogrammes; le poids du tablier était de 600 kilogrammes. La commission d'expériences de Versailles a constaté que, sous une charge statique de 9 000 kilogrammes, soit 600 kilogrammes par mètre courant, il a offert une flèche statique de 70 millimètres, une flèche permanente de 22 millimètres ; il a supporté le passage d'une voiture de 2 300 kilogrammes attelée de 6 chevaux et celui de 40 hommes au pas gymnastique.

» Des expériences ont été faites aux escadrons de spahis soudanais avec des selles dont les arçons et les étriers sont en aluminium ; une selle, du même modèle que la selle d'ordonnance, pèse 3 kilogrammes de moins et coûte le même prix. Si elles rendent les mêmes services, il y aurait avantage manifeste, notamment pour la cavalerie coloniale, à avoir un harnachement léger présentant les mêmes garanties que le harnachement réglementaire.

» Il résulte d'études de M. Japy qu'un fer à cheval en aluminium, trois fois plus léger que le fer ordinaire, peut rendre des services pour les chevaux de course ou de luxe ; la durée moyenne de la ferrure en aluminium serait de 40 à 60 jours. Une Compagnie américaine fabrique des fers de forme spéciale, dont le corps est en aluminium, et dans la face inférieure desquels sont encastrées des pièces d'acier introduites au marteau sous une pression considérable ; ces fers ne pèsent que le quart des fers ordinaires.

» L'aluminium et ses alliages sont employés aussi pour la mécanique : on s'en est particulièrement servi en ces derniers temps pour des pièces d'automobiles ; on en fait des bâtis de dynamos pour voitures électriques, des vélocipèdes dans les roues desquels les jantes en acier sont remplacées par un cercle en aluminium pouvant supporter 410 kilogrammes à la rupture ; il sert à fabriquer les garde-boue et les protège-chaîne de ces machines. On l'utilise encore pour fabri-

quer des articles de cuisine, dont certains sont constitués par du plaqué d'aluminium formé d'une plaque de ce métal à l'extérieur de laquelle est superposée, sous pression, une feuille d'acier. On dit que ces ustensiles, rigides et légers, ont une grande durée et qu'ils peuvent être posés directement sur la flamme nue sans s'écailler.

» Mais, dans la plupart des circonstances, les ustensiles de cuisine sont en aluminium estampé, et c'est, en particulier, le cas des divers types d'objets de campement qui ont été mis en expérience ; ils sont surtout en aluminium allié à 3 centièmes de cuivre, matière qui offre une résistance sensiblement égale à celle de l'alliage à 6 0/0 et qui a l'avantage d'être plus malléable et plus facile à travailler que ce dernier : les expériences de M. Charpentier lui ont, en effet, donné les résultats suivants, obtenus sur des fils de 2 millimètres de diamètre :

	Alliage à 3 0/0 recuit.	Alliage à 6 0/0 recuit.
Charge de rupture.	20kg, 5	20kg, 4
Allongement	21 7	17 0

» On a essayé, en particulier, de fabriquer avec des tôles de deux épaisseurs un campement fort (gamelle collective 540 grammes, gamelle individuelle 285 grammes ; quart, 50 grammes) et un campement faible, dans lequel les mêmes objets pèsent respectivement 385, 215 et 40 grammes ; les rapports faits à la suite des manœuvres d'automne de 1894, par les régiments chargés d'expérimenter ces ustensiles, préconisent l'emploi du campement fort, qui avait bien résisté à tous les chocs, tandis que les objets du campement faible étaient hors de service et par conséquent à rejeter ; comme le poids des trois objets en fer battu, actuellement en usage, est de 1 385 grammes, l'emploi des mêmes ustensiles en aluminium fort allégerait de 510 grammes le chargement du fantassin. Le campement en aluminium coûte à peu près le double du campement en fer battu ; malgré cette différence, l'Allemagne et la Belgique ont adopté ce campement.

» Quant au bidon-gourde, on le construit en aluminium pur embouti, et sa fabrication est devenue si parfaite qu'il offre sur les bidons en fer étamé un avantage considérable et réalise un grand progrès ; non seulement il ne se rouille plus et ne donne aucun mauvais goût à la boisson qu'il renferme, mais il est plus léger. M. Albertin a construit un système de bidon et de quart de forme spéciale, dans lequel le quart est emboîté sur le haut du bidon, avec lequel il fait corps ; cette disposition supprime le battement des objets l'un contre l'autre pendant

la marche et le pas de gymnastique, et le poids de l'ensemble est notablement inférieur à celui des mêmes objets en fer étamé.

» Les ustensiles de campement en aluminium, mis en expérience dans quelques corps d'armée, ont donné lieu à des rapports d'ensemble qui ne leur sont pas défavorables, *tout en exprimant des réserves.*

» En définitive, la légèreté de l'aluminium, l'innocuité de ses composés, la facilité avec laquelle on le travaille sont des qualités précieuses et incontestables; mais, en raison de sa grande chaleur d'oxydation, c'est un métal en réalité fort altérable dans un grand nombre de circonstances, et ses propriétés sont de nature à inspirer un certain doute et à dissiper quelques illusions, relatives aux applications qu'il est susceptible de recevoir. »

Après les déclarations de M. Moissan sur ce sujet, dans sa discussion avec M. Ditte à l'Académie des Sciences *(Comptes rendus*, 1898), nous n'aurons qu'à ajouter quelques expériences personnelles se rattachant aux observations ci-dessus formulées.

Depuis 1891 que des ustensiles culinaires, à 985 millièmes de pureté seulement, sont restés en service journalier, ils n'ont subi aucune perte appréciable ; de plus les ustensiles réformés en petit nombre après l'expédition de Madagascar présentent bien quelques piqûres dues au sodium. Mais cela ne présente rien de surprenant puisque l'on retrouvait, au début de la production électrolytique, de telles quantités de ce métal essentiellement oxydable, incorporées dans l'aluminium que, dans de vieux cubilots réformés et remisés sous des hangars, on voyait, sous l'influence de l'eau des gouttières, apparaître des lueurs et même des flammes provenant de l'inflammation de ce corps. Mais dans la plupart des objets altérés on ne constatait guère que des ménisques d'altération d'une hauteur bien déterminée, et, par conséquent, sans aucun rapport avec le contenu alimentaire normal ; il ne pouvait vraisemblablement s'agir que de l'action d'ingrédients comme les cristaux de soude, l'acide chlorhydrique, l'eau de Javelle, employés pour le nettoyage et le blanchiment, ou encore de solutions médicamenteuses, antiseptiques, à base de composés mercuriels, plombifères, iodés, salins concentrés, utilisés dans les ambulances, infirmeries régimentaires et vétérinaires, pouvant, en de telles expéditions, se trouver plus ou moins approvisionnées de récipients *ad hoc*, sans compter l'action des recuits sur les gamelles individuelles ou collectives laissées à vif sur un feu ardent ou employées pour la torréfaction du café, selon les tendances de nos tirailleurs algériens par exemple.

Par contre, nous avons pu examiner de ces mêmes ustensiles, confectionnés également dans des conditions de stabilité inférieures à celles que l'on obtient aujourd'hui avec un métal de 0,995 (au lieu de 0,985

à peine en 1885, sans compter l'impureté sodium) et décapé d'une manière bien plus rationnelle, c'est-à-dire par l'action rapide de solutions de potasse concentrées et la saturation de l'alcali en excès à l'aide d'acide azotique ou sulfurique, *exempts de composés chlorés*. En effet, certains ont pu, après avoir supporté toutes les fatigues de cette expédition lointaine, l'action des embruns, celle des paquets de mer peut-être aux warfs de débarquement, servir à l'alimentation, et sans doute aussi à la torréfaction du café. pendant toute la dernière expédition du Sud-Algérien, et rentrer après cinq ou six années, sans présenter d'autres altérations que quelques légers flots d'alumine ou chlorure d'aluminium mélangés à un peu de silicium ; le tout facile à enlever par le frottage mécanique au charbon minéral et un traitement consécutif à l'acide azotique.

Pour la conservation ultérieure en magasin, il suffit d'enduire les ustensiles *intus* et *extra*, d'une très légère couche de vaseline liquide, surtout dans les interstices des rivets qui seront, autant que possible, de même nature que le corps de l'objet fabriqué, ce produit étant facile à enlever mécaniquement et à l'eau bouillante, avant la remise en service. Dans tous les cas, la porosité du métal étant diminuée par un bon martelage et un décapage rationnel, on ne sera pas exposé à retrouver dans les ustensiles de ce genre destinés à la cuisson des aliments, à leur conservation, ainsi qu'à celle des boissons ou condiments, ces saveurs et odeurs dites « de graillon », de poisson et autres que donnent le fer battu, l'étain, le cuivre, le nickel même, qui peut contenir des traces d'arsenic, ni les composés chlorurés et alcalins provenant d'un mauvais décapage. Entre autres avantages, c'est la suppression des rétamages si onéreux qu'ils grèvent une gamelle individuelle du prix de 1 franc environ, de 0 fr. 68 c., à raison de quatre rétamages par an ; c'est également dans les ustensiles culinaires l'inutilité des émaillages si friables pour les raisons déjà données ; c'est enfin la substitution, en bien des cas, au bois, aux faïences et au verre, d'une matière première incombustible, résistante au choc et ne pouvant constituer, par sa porosité, des milieux de culture pour les germes et dépôts quelconques.

Nous osons donc espérer que, après ces quelques remarques complémentaires, M. le Professeur Ditte, qui reproduit les appréciations de H. Sainte-Claire Deville « signalant l'aluminium comme presque aussi beau que l'argent, tout en étant aussi ductible et malléable (avantage précieux pour la confection des feuilles minces appelées à remplacer l'étain coûteux et d'un contrôle assez difficile, dans l'enrobage des chocolats, cafés et denrées de consommation en général) aussi léger que le verre dans la pratique », voudra bien sanctionner de sa haute auto-

rité scientifiques les conclusions pratiques auxquelles nous ont conduit douze à treize années de recherches ininterrompues et admettre avec nous, qu'excessivement rares se présentent les cas où l'aluminium pur, soit au titre de 0,995, peut s'altérer dans les conditions de la vie usuelle et en ne s'écartant pas des usages spécialement marqués pour chaque objet, la composition du métal et de ses combinaisons étant au préalable établie en vue de chaque application déterminée.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE. v

CHAPITRE I. — Historique. 1

CHAPITRE II. — Minerais d'aluminium; composition; traitement . . . 7
De la cryolithe. 8
De la bauxite. — Variétés; analyse; usages. 10

CHAPITRE III. — Alumine. 20
Préparation. — Procédés Bayer, Laur, Peniakoff 20
Purification. — Procédés Lœwing, Klobulow, Hall; procédé à la cryolithe 26

CHAPITRE IV. — Préparation de l'aluminium; procédés chimiques . . 28
Méthodes industrielles 29
Procédés nouveaux. — Procédés Grabau, Netto, Peniakoff 34

CHAPITRE V. — Préparation de l'aluminium; procédés électrolytiques . 40
Généralités; électrolyse; principe des procédés électrolytiques . . 40
Premiers travaux d'électrolyse. 47
Méthodes usuelles 51
Premières méthodes. — Procédé Minet; ancien procédé Cowles 51
Méthodes nouvelles. — Procédé Héroult; usine de Neuhausen; procédé Hall; usine de Pittsburg; procédés allemands de Bucherer et de l'*Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft*. . . 55

Production de l'aluminium de 1891 à 1900. 70

CHAPITRE VI. — Purification de l'aluminium; procédé Bernard. . . . 73

CHAPITRE VII. — Méthodes pour souder l'aluminium 76
Mode de soudure. — Soudures Bourbouze, à l'argent, à l'étain et au bismuth; soudures Mourey, Ludwy Oliviers, au cadmium, au zinc et à l'étain, au zinc, étain et plomb; soudure Delécluse; soudure autogène.

CHAPITRE VIII. — Analyse de l'aluminium 86
Première méthode. 87
Méthode Moissan. 89
Aluminium sans cuivre. 90
Alliage de cuivre et d'aluminium 93
Autre méthode plus expéditive 94
Analyse des alliages 98

CHAPITRE IX. — Propriétés de l'aluminium. 102
Propriétés de l'aluminium pur 103
Propriétés de l'aluminium industriel. 112
Résumé. — Tableaux d'expériences 128
Expériences diverses 136

CHAPITRE X. — Alliages d'aluminium 144
Alliages légers; d'or, d'argent, d'étain, de cuivre, de manganèse et chrome, de silicium et fer, de vanadium, de fer, de nickel, de glucinium, de silicium, de tungstène, d'antimoine; partinium; alliage à 3 0/0 de cuivre; alliages des Forges de Sedan, Charpentier-Page 145
Alliages lourds; de cuivre; laitons-aluminium; bronze aluminium-or; or de Nuremberg; alliage tiers argent; macadamite; loréor. 156
Trempe et recuit. — Trempe; aluminium rigidifié; recuit. . . . 160

CHAPITRE XI. — Résumé de la production et des propriétés de l'aluminium. 164

CHAPITRE XII. — Applications de l'aluminium 169
Applications du métal non allié. — Aluminothermie. — Soudage des métaux. — Préparation du vanadium. — Couleurs. — Purification du sucre de betterave. — Papier granité. — L'aluminium et la préparation du phosphore. — L'aluminium et la chimie photographique. 169
Application du métal écroui. — Objets fabriqués. — Transmissions et canalisations électriques 181

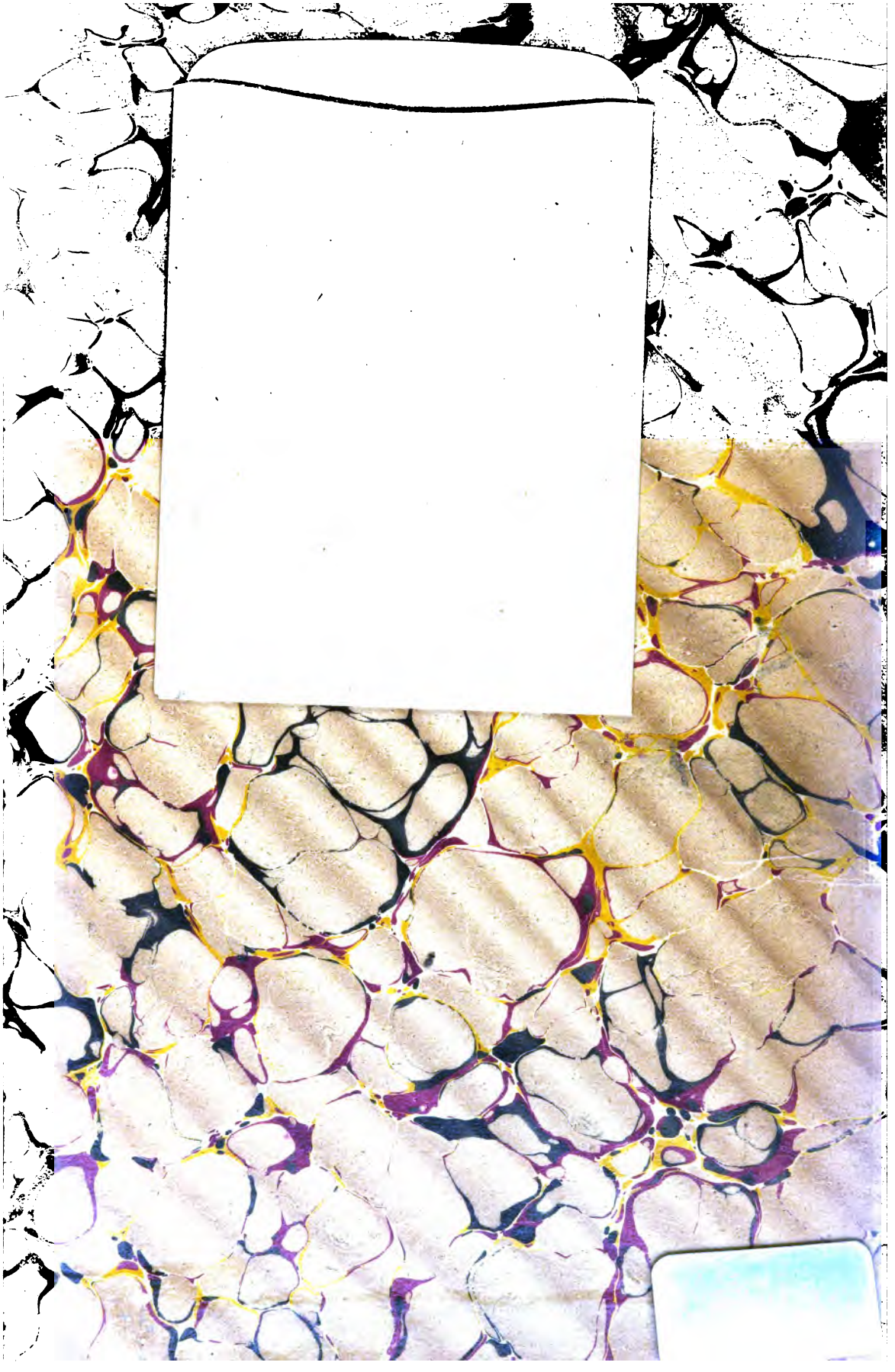
Application des alliages d'aluminium; laminés; tubes, fils, ustensiles alimentaires; transmissions d'énergie électrique; aérostation; cyclisme; chirurgie; métallothérapie; applications variées; applications d'ensemble. 185
Travail et recouvrage de l'aluminium. 193

CHAPITRE XIII. — Résumé général. 198

APPENDICE. — Discussion des idées de M. Ditte 207

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES

89083895011
b89083895011a



89083895011

B89083895011A